

الهندسة البيئية والصحية

ENVIRONMENTAL ENGINEERING

مهندس استشارى

محمد أحمد خليل

SBH

الهندسة البيئية والصحية

ENVIRONMENTAL ENGINEERING

مهندس استشارى

محمد أحمد السيد خليل

محمد أحمد السيد خليل
الهندسة البيئية والصحية
ط١.- القاهرة : دار الكتب العلمية للنشر والتوزيع،
٢٠٠٧

تدمك ١-٩٧٧-٢٨٧-٧٤٨
١- هندسة البيئة
٦٢٠,٨

دار الكتب العلمية للنشر والتوزيع
٥٠ شارع الشيخ ريحان - الدور الأول - شقة ١٢
عابدين - القاهرة ☎: ٢٧٩٥٤٢٢٩
www.sbh-egypt.com
E-mail:sbh@link.net

بسم الله الرحمن الرحيم

الجـزء الأول

الهندسـة البيئيـة

....

الفصـل الأول : مفاهيم أساسية

الفصـل الثانى : تلوث المياه

الفصـل الثالث : الهيدرولوجى وحصد مياه الأمطار والسيول

الفصـل الرابع : المخلفات الصلبة المنزلية

الفصـل الخامس : إدارة المخالفات الخطرة

الفصـل السادس : تلوث الهواء

الفصـل السابع : التلوث السمعى

الهندسة البيئية

تقديم الكتاب :

موضوعات هندسة البيئة توفر منهج واقعى للأمور المتعلقة بالحفاظ على البيئة المتعلقة بصحة الإنسان وسعادته. هذا المرجع مصمم لاستخدام الدارسين لموضوعات الهندسة البيئية فى الكليات والمعاهد. كما يستفاد به في دراسات البيئة للمراحل ما قبل الجامعية، وكذلك للمهتمين بزيادة الوعى الثقافى البيئى وللمهتمين بشئون البيئة من مختلف التخصصات الذين يساهمون فى الخدمات البيئية، كمدخل تقنى للمعرفة بمشاكل البيئة وحلولها العملية.

نظراً لأن مجال البيئة هو مجال واسع ويحتوى على العديد من الموضوعات فقد تم إعداد هذا المرجع ليتناول الأمور الهامة فى جزئين حيث يتناول الجزء الأول الهندسة البيئية ويتناول الجزء الثانى الهندسة الصحية .

وفى الجزء الأول تم تخصيص الفصل الأول للتعرف على المفاهيم الأساسية لشئون البيئة من النواحى الصحية والمتعلقة بالمحيط الحيوى للإنسان. وفى الفصل الثانى تم تناول موضوعات تلوث المياه وأخطارها على البيئة المائية سواء فى المجارى السطحية العذبة أو مياه البحيرات أو المياه الجوفية أو مياه البحار مع الإشارة إلى معايير نوعية مياه المجرى المائى وملاءمة استخداماتها. أما الفصل الثالث فقد خصص لموضوع الهيدرولوجى وحصر مياه الأمطار و السيول وفيه تم استعراض الدورة الهيدرولوجية وسقوط الأمطار والمياه السطحية والجفاف أو ندرة المياه والخزانات والمياه الجوفية. وقد تم تخصيص الفصل الرابع لموضوعات إدارة المخلفات الصلبة المنزلية حيث تم الإشارة إلى خواص هذه المخلفات وطرق الجمع والإعداد والتدوير والتخلص بالردم الصحى. وموضوع إدارة المخلفات الخطرة تم تناوله فى الفصل الخامس حيث تم توضيح الخواص والكميات، النقل للمخلفات الخطرة وموضوعات المعالجة والتخزين والتخلص وتم استعادة صلاحية أماكن التخلص العشوائى لهذه المخلفات.

وفى الفصول التالية تم تناول موضوعات تلوث الهواء فى الفصل السادس والتلوث السمعى فى الفصل السابع والفصل الثامن الذى خصص للملاحق الخاصة بتقييم الأثر البيئى واستخدام التخصصات طبقاً لتأهيلها ومعاملات التحويل ووحدات القياس، المعايير

والمواصفات لمياه الشرب وكذا الملاحق الخاصة باللائحة التنفيذية للقانون ١٩٩٤/٤ بشأن البيئة.

وفى هذا المرجع تم تناول الحلول العملية الهندسية لحماية البيئة من مخاطر التلوث بفعل الأنشطة الصناعية والتنموية والسلوكيات الغير رشيدة وذلك بهدف حماية الصحة العامة وتوفير البيئة الصالحة لسعادة الإنسان ورفاهيته.

وكذلك فإن موضوعات هندسة البيئة قد شملت أيضاً موضوعات الهندسة الصحية والتى تتضمن نظم تداول ومعالجات مياه الشرب والصرف الصحى حيث خصص لها الجزء الثانى من هذا المرجع والذى يتكون من ستة فصول حيث شمل الفصل الأول والثانى هيدروليكا المياه ونوعيه المياه والفصل الثالث والرابع تم تناولهما لموضوع تنقيه مياه الشرب وتوزيعها . وخصص الفصل الخامس والسادس لمعالجة مياه الصرف الصحى وتجميعها والتخلص الآمن منها.

والله أسأل أن يحقق ما نبغيه

المؤلف/ مهندس استشارى
محمد أحمد السيد خليل

الفصل الأول

المفاهيم الأساسية (Basic Concepts)

تكنولوجيا البيئة تتضمن تطبيقات المبادئ الهندسية فى تخطيط وتقييم وإنشاء وتشغيل النظم الآتية :

- توضيح لمفهوم هندسة البيئة.
- تلوث المياه وانعكاساتها على البيئة.
- حصد مياه السيول والأمطار.
- إدارة المخلفات الصلبة المنزلية والمخلفات الخطرة.
- حماية الهواء من التلوث ومقاومة التلوث السمعى.
- التصحاح البيئى للمجتمع.

الإمكانيات والإنشاءات التى تخدم هذه المهام، تشمل خطوط المواسير، محطات الضخ، محطات المعالجة، أماكن التخلص من المخلفات، المساهمة فى جزء كبير من البنية الأساسية للمجتمع. الأعمال الخاصة والعامة التى تمكن المجتمع الإنسانى ليمارس نشاطه بحيوية وإنتاجية.

الدور العملى لتكنولوجيا البيئة يتضمن هدفين أساسيين وهما:

١- حماية الصحة العامة بمنع إنتشار الأمراض بين المواطنين.

٢- المحافظة على البيئة الصحية وذلك من خلال المحافظة على نوعية البيئة الطبيعية بما فيها الماء، الأرض، الهواء، النباتات، الحيوانات.

وفى الواقع، يوجد تطابق كبير بين هذين الهدفين بسبب العلاقة بين نوعية الظروف البيئية والحالة الصحية الأمنة للبشر. أيضاً فى الواقع فإن مصطلحات الصحة العامة والبيئة الصحية هما عادة مترادفين.

الصحة العامة تشمل أكثر من مجرد عدم وجود المرض. فهى حالة السعادة والراحة الطبيعية والنفسية. نظافة واستحسان كل ما هو حولنا والهواء والأنهار والبحيرات والغابات والمساحات الخضراء وكذلك المدن والقرى. كل هذا له التأثير المباشر على هذه

والغابات والمساحات الخضراء وكذلك المدن والقرى. كل هذا له التأثير المباشر على هذه الحالة من السعادة والراحة، والتصحاح (صيانة الصحة العامة) (Sanitation) أى أن الارتقاء بالنظافة العامة هو ضرورة أساسية فى التأثير على حماية الصحة العامة وتوفير البيئة الصحية.

وتكنولوجيا البيئة تعتبر عادة جزء من تخصص الهندسة المدنية والتى ارتبطت بالتخطيط والتصميم وإنشاء وتشغيل المرافق ووسائل الخدمة اللازمة لتوفير البيئة الصحية. وحتى وقت قريب كان هذا التخصص ضمن الهندسة كان له عدة تسميات. حيث كان يسمى :

الهندسة الصحية Sanitary Engineering

هندسة الصحة العامة Public Health Engineering

هندسة الحماية من التلوث Pollution control Engineering

هندسة البيئة الصحية Environmental Health Engineering

ومهما كانت التسمية، فإن المطلوب طاقم من ذوى المعرفة والمهارة من المهندسين والتقنيين والفنيين لتنفيذ هذه المهام الأساسية.

تكنولوجيا البيئة تعتبر مجال متداخل (Interdisciplinary) ذلك لأنه يجمع العديد من الموضوعات التقنية المختلفة. فبالإضافة إلى المجالات التقليدية للهندسة المدنية مثل الهيدروليكا والهيدرولوجى فإنه يشمل البيولوجى، الإيكلولوجى (وهو علم الأحياء لدراسة العلاقة بين الكائنات الحية وبيئتها)، والجيولوجى، والكيمياء، وخلافة .. هذا الاختلاف جعل هذا المجال جذاب ويستحق التحدى.

فقد تم إعداد هذا المرجع ليمكن للدارس الذى لديه القليل من الخلفية الأكاديمية فى بعض أو كل المواد المساعدة من إمكان استخدامة جيداً . إن هذا الفصل هو مراجعة لأساسيات حماية الصحة العامة، البيئة الحياتية والجيولوجيا.

١- نظرة عامة على تكنولوجيا البيئة :

فى دراسة الموضوعات الكثيرة والمختلفة التى تتناول تكنولوجيا البيئة. يكون من المناسب التفهم للمهام الكلية والمشاكل والحلول البديلة المتاحة للمهنيين فى هذا المجال.

لإلقاء الضوء على هذا الموضوع المتسع، فإنه يمكن تصور مشروع هندسي يتضمن تقسيم وتطوير قطعة أرض إلى تجمع سكنى جديد والذى يشمل منشآت سكنية، تجارية، صناعية، خدمية. سواء كان صاحب المشروع جهة حكومية أم تنمية خاصة، فإنه يلزم الأخذ فى الاعتبار كثيراً من المشاكل البيئية قبل البدء فى إنشاء هذا المجتمع الجديد. عادة صاحب المشروع يوكل الخدمات لإستشارى بيئى مستقل لعنونة هذه المشاكل.

إمداد المياه :

أحد المشاكل الأولى التى يتبناها الاستشارى هى توفير إمدادات مياه الشرب النظيفة والآمنة والمتاحة بالكميات المناسبة لتحقيق احتياجات المجتمع الجديد. بعض الأسئلة التى يجب الإجابة عليها هى كالآتى :

١- هل يوجد نظام لإمدادات مياه الشرب قريباً بطاقة تمكن من الاتصال به وخدمة التجمع التنموى الجديد؟ فى حالة عدم إمكان ذلك.

٢- من المفضل بناء نظام مركزى للمعالجة وللتوزيع لكل التجمع، أو قد يكون من المفضل استخدام إمدادات آبار منفردة؟

٣- أما فى حالة اختيار محطة معالجة مركزية سيكون:

أ- ما هو نوع عمليات معالجة المياه المطلوبة لتتطابق مع معايير مياه الشرب؟ (المياه من المسطحات المائية كالأنهار والبحيرات عادة تتطلب معالجة أكثر مقارنة بالمياه الجوفية) مع اختبار المصدر وعمليات المعالجة.

ب- ما هو أفضل تصميم هيدروليكي لشبكة التخزين والضخ والتوزيع لضمان إمكانية توفر الكميات الكافية من المياه للمستهلكين عند الضغوط المناسبة؟ وذلك لمدة زمنية مقدارها ٢٠ عاماً.

التخلص من مياه الصرف الصحى والمحافظة على المياه من التلوث :

عند توفير المياه إلى المنشآت السكنية والخدمية، فإنه تكون هناك الحاجة إلى التخلص من المياه المستخدمة (الصرف الصحى). والصرف الصحى يحتوى على مخلفات آدمية، مياه نظافة، ومياه غسيل أوانى منزلية وكذلك العديد من الكيماويات فى حالة وصول مياه الصرف من منطقة صناعية أو تجارية. وهى تحمل كذلك كائنات حية دقيقة التى يمكن أن

تسبب الأمراض ومواد عضوية التي يمكن أن تلوث البحيرات والمجارى المائية فى حالة تحللها.

سيكون من الضرورى تزويد المجتمع الجديد بالوسائل الآمنة للتخلص من الصرف الصحى، ولمنع تلوث المياه وحماية الصحة العامة والبيئة الصحية. وبعض الأسئلة الفنية التى سيتم إعلانها تشمل الآتى :

١- هل يوجد نظام لمعالجة الصرف الصحى بالقرب من التجمع الجديد وبطاقة تمكن من تداول التدفقات الإضافية من المجتمع الجديد؟ فى حالة عدم وجود ذلك.

٢- هل الظروف الجيولوجية المحلية مناسبة للتخلص تحت السطح لمياه الصرف (عادة نظم خزانات التحليل)، أو أنه من الضرورى توفير محطة معالجة صرف صحى مركزية للمجتمع الجديد والصرف للمياه المعالجة فى المجرى المائى القريب؟. إذا كان المطلوب هو المعاجلة والصرف الصحى.

٣- ما هى الدرجة أو المستوى المطلوب لمعالجة مياه الصرف لمنع تلوث المياه؟ هل ستكون طريقة المعالجة الثنائية التى تزيل مالا يقل عن ٨٥% من الملوثات القابلة للتحلل البيولوجى طريقة مناسبة؟ أم أنه يلزم شكل آخر من المعالجة المتقدمة لتتطابق مع معايير الصرف على المسطحات المائية.

٤- هل تدفق مياه الصرف الصناعى عامل هام؟

٥- هل يمكن استخدام بعض أنواع التخلص على الأرض (Land Disposal) لمياه الصرف الصحى المعالج، مثل الرى بالرش، بدلاً من الصرف على المجرى المائى؟

٦- ما هى الطرق التى سيتم استخدامها لمعالجة الحمأة أو المواد الصلبة البيولوجية (Biosolids) والتخلص منها والتى تم إزالتها من مياه الصرف؟

٧- ما هو أفضل مخطط وتصميم هيدروليكى لنظام جمع مياه الصرف الصحى لإمكان إرسالها إلى وحدة المعالجة المركزية مع أدنى حاجة لعملية الضخ؟

إدارة وتصريف عاصفة الأمطار : (Storm water management)

تنمية المساحة من الأرض للسكنى والاستخدام تعمل على زيادة حجم ومعدل تدفق المياه فوق الأرض سواء كانت من المطر أو من إذابة الثلوج. أساسا يرجع هذا بسبب إنشاءات الطرق والأرصفة أو الأسطح الأخرى الغير مانعة لنفاذ المياه، والتى تمنع تسرب

المياه إلى جوف الأرض. زيادة معدل سقوط الأمطار قد يسبب الطفح، ونحت التربة، تلوث المياه سواء فى الموقع أو تحت التيار. الآتى بعض الأسئلة التى يجب أن يراجعها الاستشارى.

١- ما هى أفضل طريقة لتخطيط وتصميم هيدروليكى لنظام الصرف السطحى الذى سوف يمنع حدوث الطفح والفيض المحلى أثناء الفترات الزمنية لحدوث الأمطار؟

٢- ما هى كثافة واستمرار حدوث الأمطار التى سيتم تصميم النظام لتداولها بدون حدوث زيادة فى التغذية أو زيادة فى الفيض؟

٣- هل الضوابط المحلية لاستخدامات الأراضى تحتاج إلى إضافات التى تجعل الإنشاءات المقامة لمعدلات الهطول تساوى أو تقل عن كمية الهطول فى المساحة الأرضية قبل تنميتها.

٤- ما هى أفضل وسيلة لإدارة عملية خفض ذروة التدفقات من الأمطار وحماية نوعية المياه أثناء فترات سقوط الأمطار.

٥- ما هى التدابير والاحتياطيات التى يمكن عملها أثناء وبعد الإنشاء لخفض المشاكل المتعلقة بنحت التربة أثناء التدفقات؟

٦- ما هى أفضل طريقة لإدارة التدفقات المشتركة فى شبكات الصرف القديمة.

إدارة المخلفات الصلبة والخطرة: Solid and Hazardous Waste Management

التنمية لتجمع سكنى جديد (أو نمو تجمع قائم) سيؤدى حتما إلى زيادة المخلفات المنزلية والصناعية. جمع والتخلص من المخلفات الصلبة هو من مسئولية الإدارة المحلية. ولكن بعض المخلفات من المصادر الصناعية يمكن أن تكون خطرة وتتطلب طرق خاصة للتداول والتخلص.

توجد علاقة مؤكدة بين الصحة والبيئة الصحية وتداول المخلفات الصلبة والتخلص منها. عدم التخلص المناسب من المخلفات المنزلية الصلبة يمكن أن يؤدى إلى انتشار الأمراض مثل التيفوس والطاعون بسب توالد وتكاثر الفئران والهوام.

كذلك فإنه فى حالة التخلص الجيد من المخلفات المنزلية فى مدفن للقمامة أو على الأرض، فإنه من المحتمل كذلك حدوث تلوث للمياه السطحية والمياه الجوفية خلال مياه الغسيل (Leachate) فى حالة سقوط الأمطار على مقالب القمامة وتسرب المياه الحاملة

للملوثات إلى المياه السطحية أو الجوفية. كذلك فإن حرق المخلفات قد يسبب تلوث كبير للهواء الجوى فى حالة عدم التحكم الجيد فى تكنولوجيا الحرق.

المخلفات الخطرة مثل الكيماويات السامة أو القابلة للاحتراق من العمليات الصناعية، يجب أن تلقى الاهتمام الخاص بالنسبة للتخزين، والجمع، والنقل والمعالجة ثم التخلص النهائى. هذا ضرورى خاصة لحماية نوعية المياه الجوفية التى هى مصدر الإمداد بالمياه لكثير من المواطنين.

بعض الأسئلة العامة المتعلقة بالتخلص من المخلفات الخطرة والصلبة فى التجمع السكانى الجديد تشمل الآتى :

١- هل توجد إمكانيات لتدوير المواد فى خدمة الموقع؟ ماذا ستكون متطلبات الحفظ، الجمع، والتدوير (مثلاً، هل سيكون هناك ضرورة لفصل المخلفات المنزلية عند المصدر)؟

٢- هل ستكون هناك حاجة إلى معدات (مثل تلك التى تقوم بالتقطيع أو الطحن أو الخلط أو الحرق) لخفض حجم المخلفات وتحسين خواص تداولها.

٣- هل توجد مساحة مناسبة للدفن الصحى، وهلى ستكون بالطاقة الكافية لتداول الكميات الزائدة من المخلفات الصلبة لفترة زمنية مناسبة؟ (رغم المجهود لتدوير المخلفات الصلبة أو لخفض حجمها، فإن بعض المواد يلزم التخلص النهائى منها فى الأرض بطريقة بيئية صحيحة). فى حالة عدم ذلك.

٤- إذا كان هناك موقع مناسب لإنشاء وتشغيل منطقة ردم جديدة لخدمة المنطقة؟ (الموقع الحديث للردم الصحى يجب أن يحقق المتطلبات الطبوغرافية، الجيولوجية، الهيدرولوجية، والاعتبارات البيئية الأخرى).

٥- هل الأنشطة التجارية والصناعية سوف تنتج مخلفات خطرة، إذا كان ذلك كذلك، فما هى التدابير اللازم عملها لجمع ونقل ومعالجة تلك المادة؟ هل توجد منطقة ردم آمنة ومتاحة للتخلص النهائى، أو أنه يجب إنشاء منطقة جديدة لخدمة المنطقة.

الوقاية من تلوث الهواء ومن التلوث السمعى : Air and Noise Pollution Control

معظم مصادر تلوث الهواء تشمل حرق الوقود لإنتاج الطاقة، بعض العمليات الصناعية، السيارات بأنواعها. يمكن التحكم فى استخدام وقود السيارات وتطويره، كذلك فإن المنشآت الصناعية يجب أن تستخدم أساليب وتقنيات حماية الهواء من التلوث.

حجم الحركة المرورية من الطبيعى أنه سيزداد، بما يؤدى إلى زيادة فى أدخنة الحريق من المركبات بأنواعها المختلفة. ولكن التخطيط المناسب والجيد للطرق ونظام المرور يمكن أن يقلل من عملية التوقف والسير المروريه، بذا يمكن تقليل كمية تلوث الهواء فى المنطقة.

عادة فالإستشارى والقائمين بمهمة التنمية يجب أن يقوموا بإعداد بيان للأثر البيئى (EIS - Environmental Impact Statement) والذى يقوم بوصف الحركة المرورية، تقدير المستويات المتوقعة من ملوثات الهواء. بالإضافة إلى تلوث الهواء فإن الإعداد الكامل لبيان الأثر البيئى (EIS) سوف يتناول كل الآثار البيئية الأخرى المرتبطة بالمشروع المقترح.

والتلوث السمعى يمكن اعتباره أحد أنواع تلوث الهواء الذى فى شكل طاقة مهدرة – ذبذبات صوتية – التلوث السمعى يكون ناتج الأنشطة الإنشائية ذات الأثر المستمر أو المؤقت . ولذلك فإنه يجب ملاحظة القيود على معدات الإنشاء وساعات العمل لخفض الأثر السلبى على البيئة. التأثير على المدى الطويل بالنسبة لإنتاج الأصوات يكون سببه زيادة كمية المركبات المرورية. وهذا عامل بيئى آخر الذى يجب أن يؤخذ فى الاعتبار بواسطة الاستشارى.

عوامل بيئية أخرى : (Other Environmental Factors)

يجب مراعاة المساحات الخضراء والكائنات البرية فى أى مشروع لتنمية الأرض. تدمير وإتلاف المساحات الخضراء والغابات الخشبية لتوفير مساحات من الأراضى لإقامة منشآت جديدة. فتدمير المساحات الخضراء يمكن أن يؤدى إلى مشاكل بيئية كبيرة بين الكائنات الحية والبيئية المحيطة بها، وخاصة إذا كانت هناك سلالات نادرة أو مهددة بالانقراض فى تلك المنطقة. قطع الأشجار والرصف فوق المساحات الخضراء يمكن أن يسبب النحر والبرى فى التربة وبالتالى إحداث الترسيبات فى المسطحات المائية. وعلى المدى الطويل فإن هذا يسبب هجرة الحيوانات البرية إلى أماكن أخرى مناسبة قريبة، وإلا فإن كثيراً من هذه الأجناس يمكن أن يختفى من المنطقة كلية.

العلاقات البيئية المتبادلة : (Environmental Interrelationships)

فى التقديم السابق لتكنولوجيا البيئة تم تناول العديد من العوامل ذات العلاقة المتبادلة والتداخل فيما بينها كما هو موضح فى الشكل (١/١). وفى الكتاب المدرسى يكون من

الضرورى تنظيم تلك العوامل فى أبواب وفصول. ولكن هذا فقط للإفادة والملاءمة الأكاديمية. والعلاقات البيئية المتبادلة يجب دائماً مراعاتها. فتتلوث الماء، الأرض، الهواء، هو جزء من مشكلة واحدة.

أحيانا بسبب عدم توقع هذه العلاقات البيئية والتطابق، فإن حل أحد المشاكل البيئية بدون سابق إنذار يسبب وجود مشاكل مختلفة. فمثلا، استخدام المحولات الحفازة (Catalytic Convertors) منذ عام ١٩٧٠ لخفض الضباب الدخانى (Smog) الناتج عن غاز عادم السيارات وجد أنه يساهم فى مشاكل مختلفة لتلوث الهواء – مثل الحرارة الكونية (Global Warming) أو تأثير غاز الصوبة. المحولات الحفازة يمكن أن تنتج كميات كبيرة من أكسيد النيتروز (الغاز المضحك) والذى هو غاز قوى الذى يمكنه حجز الطاقة الحرارية بما يسبب حدوث دفء فى الجو (الاحتباس الحرارى).

مثال يشمل تلوث المياه الجوفية والمياه الأرضية فى بعض المدن بواسطة مادة كيماوية عضوية (Methyl Tertiaryl Butyl Ether) التى تضاف إلى الجازولين لخفض تلوث الهواء (يخفض تركيز أول أكسيد الكربون والأوزون فى الهواء). فقد ثبت تلوينه للمصادر المائية من خلال التسرب من خزانات الوقود تحت الأرض وهذه المادة الكيماوية مسرطنة وتعطى للماء مذاقاً ورائحة منفردة حتى عند التركيزات المنخفضة جداً.

ومع زيادة المعرفة فى المستقبل بخصوص تأثير التداخل والتطابق فى الظواهر البيئية، فإن المهندسين سيمكنهم إيجاد نظم للحماية من التلوث الذى ليس له تأثيرات ضارة غير متوقعة على عناصر بيئية أخرى مع القدرة على تجنب حالات مثل التى سبق الإشارة إليها.

٢- الصحة العامة : (Public Health)

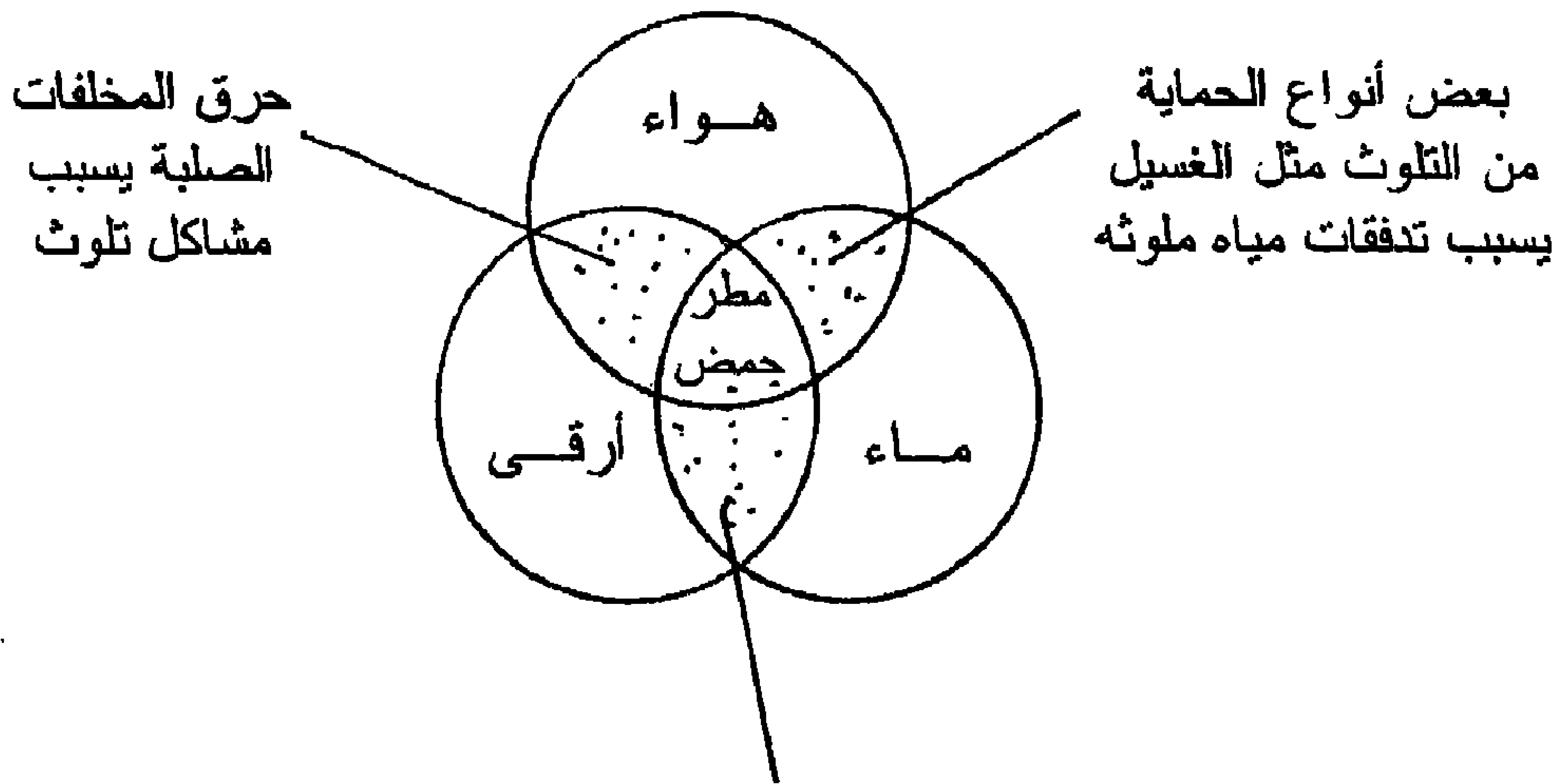
إن منع انتشار الأمراض وبالتالى المحافظة على صحة المواطنين يعتبر دوراً أساسيا لتكنولوجيا البيئة. فى حماية الصحة العامة هى بطبيعة الحال من اهتمامات الأطباء. ولكن التكنولوجيا الهندسية تقوم كذلك بدور كبير فى هذا المجال. وفى الواقع، فإن المستوى الصحى العالى للسكان وفى الدول المتقدمة يعود إلى حد كبير إلى إنشاء وتشغيل النظم الحديثة لمعالجة المياه والحماية من التلوث. كما أن انتشار الأمراض لعدم وجود المرافق المناسبة هو المشكلة الرئيسية لملايين البشر وخاصة فى الدول النامية. وتنقسم الأمراض إلى قسمين رئيسيين وهما الأمراض المعدية والأمراض الغير معدية. فالأمراض المعدية

هى تلك الأمراض التى يمكنها الانتقال من شخص إلى آخر بأى وسيلة. أما أنواع الأمراض الغير معدية المتعلقة بتكنولوجيا البيئة هى تلك المرتبطة بتلوث الماء، الهواء أو الغذاء. الملوثات هى عادة ملوثات كيماوية من الأنشطة الصناعية، ذلك رغم أن المواد السامة البيولوجية يمكن أن تسبب المرض.

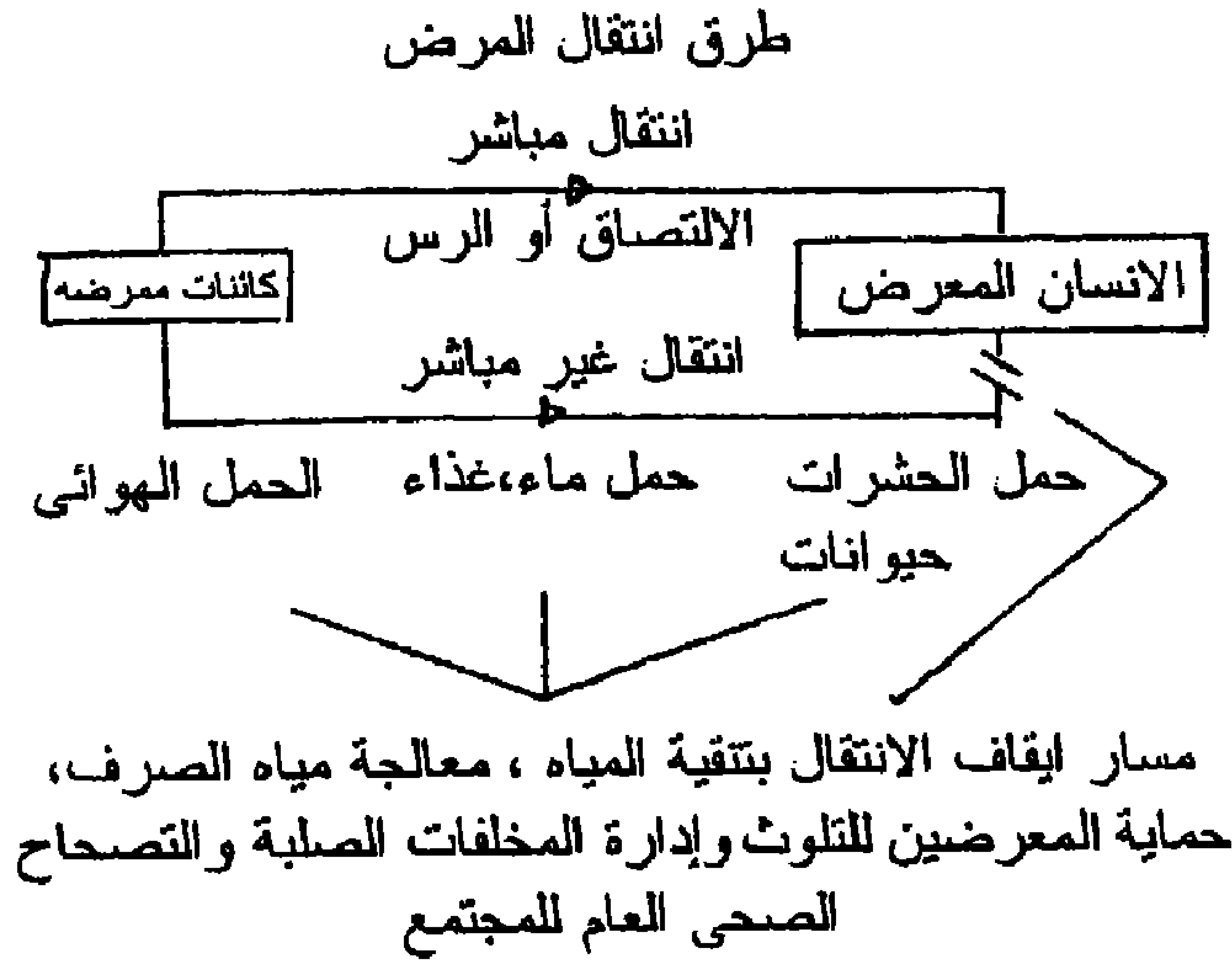
الأمراض المعدية :

الأمراض المعدية تكون عادة بسبب الميكروبات. وهذه الكائنات المجهرية تشمل البكتريا، البروتوزوا، الفيروسات. معظم الميكروبات من المكونات الأساسية فى البيئة ولا تسبب الأمراض. ولكن تلك التى تسمى الكائنات الدقيقة الممرضة (Pathogens) هى المسببة للأمراض المعدية.

الطرق التى ينتقل بها المرض من شخص إلى آخر تختلف كثيراً وهى تسمى طرق العدوى وموجزه فى الشكل (١/٢). من المهم التفرقة بين الطرق المختلفة للانتقال لاستخدام الطرق المناسبة لمنع الانتقال المباشرة والانتقال الفورى للكائنات الممرضة من الشخص الحامل (الشخص المعدى) إلى الشخص ذو الالتصاق المباشر مع الشخص الحامل ومعرض لحمل المرض.



شكل (١/١) معظم المشاكل البيئية المتعلقة بنوعية الهواء، الماء، التربة هى عوامل متداخلة مشكلة المطر الحمضى كمثال يكون بسبب تلوث الهواء، وهى تدمر كلاً من النظام المائى والأرضى الإحيائى



شكل (١/٢) الأمراض المجتمعة تنتشر بطرق مختلفة
كثير منها يمكن منعه باستخدام تكنولوجيا البيئة.

من الطبيعى أن مقاومة هذه الطريقة من طرق الانتقال ليست ضمن مجال تكنولوجيا البيئة، فهى من اهتمامات القطاع الصحى والوقائى (الذى يوفر المناعة والحجر الصحى لحاملى العدوى).

يمكن تطبيق تكنولوجيا البيئة لتقاطع كثير من أشكال الانتقال الغير مباشر. الطرق الثلاث الغير مباشرة لنقل المرض هى : الحمل بالهواء (Airborne)، الكائنات الناقلة (جراثيم، حشرات) والتى تسمى Borne.Vector ، الأدوات الناقلة (Vehicle Borne)، الانتقال الهوائى يشمل انتقال الميكروبات من الشخص الحامل ثم الالتصاق بالضبات الملوث أو بحبيبات الغبار العالقة فى الهواء. وهذه هى الأقل بالنسبة للشكل الغير مباشر.

الكائنات الناقلة وهذه تشمل الحشرات، القوارض والكائنات الأخرى التى يمكنها نقل الميكروبات الممرضة إلى الأشخاص المعرضين للالتصاق. الكائنات الناقلة للميكروبات المعدية تسمى الحاضن الوسيط فى حالة نمو الميكروبات فى جسم الناقل قبل أن يصبح معدى للإنسان. الأمراض التى تحملها الكائنات الناقلة يمكن مقاومتها إلى درجة ما بالإجراءات الصحية المناسبة.

أدوات انتقال المرض هى أى غرض غير حى أو مادة تكون ملوثة بالكائنات الممرضة. فمثلاً، الملاعق والشوك، المناديل، الملابس الملتصقة بالتربة، حتى لعب

الأطفال تعتبر أدوات انتقال جيدة. فهى يمكنها حمل ونقل الكائنات الممرضة من الشخص الحامل إلى الملتصق.

كذلك الماء، الغذاء، اللبن أدوات انتقال للأمراض، وهذه ربما تكون الأكثر أهمية بالنسبة لتكنولوجيا البيئة والإصحاح – الماء بالتحديد يقوم بدور رئيسى فى انتقال الأمراض المعدية، ولكنه هو الأكثر عرضة للسيطرة التكنولوجية والهندسية. مرافق معالجة المياه ومياه الصرف توقف بشدة انتقال المياه الحاملة للأمراض.

أنواع الأمراض المعدية :

الأمراض التى تحملها المياه ويحملها الطعام ربما تكون من أكثر أنواع الأمراض المعدية التى تحتاج إلى وقاية. فاستخدام المبادئ الصحية وتكنولوجيا البيئة قد ساعد كثيراً على التخلص من انتشار هذه الأمراض فى الدول المتقدمة تكنولوجيا.

الأمراض التى يحملها الماء والغذاء تسمى كذلك أمراض معوية ذلك لأنها تؤثر على الجهاز الهضمى للإنسان. الكائنات الدقيقة الممرضة (Pathogens) يتم إفرازها ضمن غائط الشخص الحامل للمرض.

إذا حدث أنه تم وصول هذه الكائنات الدقيقة الممرضة إلى الجهاز الهضمي بواسطة الغذاء أو الماء الملوث، فإن دورة المرض من المحتمل أن تستمر وتنتشر بشكل وبائى (Epidemic).

أعراض الأمراض المعوية تشمل الإسهال، القئ، والحمى، الغثيان (دوار البحر). الأمراض المعوية يمكن أن تضعف أعداد ضخمة من الأفراد فى شكل وبائى أحيانا تسبب الوفاة لأعداد كثيرة من حاملى المرض.

المياه الملوثة بمياه الصرف الصحى هى عموما السبب الرئيسى لهذا النوع من المرض.

الأمراض الشائعة التى تحملها المياه تشمل الدسنتاريا، الكوليرا، الالتهاب الكبدى الوبائى المعدى، حمى التيفود، والأمراض المعوية (الإسهال، التشنج)، هذه يمكن أن تنقل بالغذاء الملوث أو منتجات الألبان الملوثة. الأمراض التى تسببها البكتريا السامة (Toxins) تشمل (Botulism , Staphylococcus) المسببة لتسمم الغذاء.

ولكن التبريد والإعداد الجيد للطعام مع مراعاة النظافة العامة لتجهيزات إعداد الطعام والمطاعم تعتبر إجراءات هامة للحد من هذه الأمراض التى يحملها الطعام.

من بين الأمراض المعوية ذات التأثير على الصحة العامة هى تلك الأمراض التى يحملها الماء وهى (Giardiasis , Cryptosporidosis) وكلا هذين المرضين سببهما كائن دقيق وحيد الخلية يسمى البروتوزوا. ولكن مراعاة المعايير المقررة لمعالجة مياه الشرب يمكن أن تحد من هذه الأمراض.

الحشرات الحاملة للأمراض تشمل تلك التى تنقل بواسطة عضات البعوض، القمل، والحشرة التى تمتص الدم (Ticks). الملاريا والحمى الصفراء والتهاب الدماغ (Encephalitis) هى من الأمراض التى تنتشر بأجناس معينة من البعوض. الذباب كذلك ينشر المرض، ولكن ليس بالعض، بل بالالتصاق بأجسامه الحاملة للجراثيم وأجنحته وأرجله مع الغذاء الذى يستهلكه الإنسان فتنتشر أمراض مثل حمى التيفود والأمراض المعوية. التخلص من أماكن توالد وفقس الحشرات هى من أهم إجراءات الوقاية. التخلص الصحى من القمامة يقلل من انتشار أماكن الذباب، وكذلك التخلص من المياه الراكدة هو من أهم الطرق المتاحة للتخلص من أماكن توالد وتكاثر البعوض. المقاومة الكيماوية بالمبيدات هو عادة الملجأ الأخير لكنه يسبب المشاكل الصحية والبيئية المصاحبة لاستخدام المواد السامة.

بالإضافة إلى الحشرات، فإن الحيوانات الأخرى الناقلة للأمراض، هى الكلاب والفئران .. مرض الكلب (Rabies) هو مثال مألوف للمرض الذى ينتشر بعضة الكلب الحامل للعدوى أو أى حيوان آخر، ولكن هذا ليس له علاقة بالظروف البيئية. القوارض الحاملة للأمراض مثل التيفوس (Typhus)، الطاعون الدبلى (المسبب لورم فى الغدة الليمفاوية (Bubonic plague) يمكن مقاومتها بتطبيقات تكنولوجيا البيئة. يمكن الحد من تكاثر الفئران بالإجراءات الصحية المحلية، وكذلك منع وصول القوارض إلى القمامة أو الماء. كود المبانى الحديثة يشمل المواصفات لحماية المبانى من القوارض.

الأمراض الغير معدية :

من الحقائق المؤكدة أن معدلات الوفاة لسكان المدن الحضرية شديدة التلوث أعلا بكثير عن المناطق الخالية من التلوث. وهذا ليس بالضرورة بسبب التلوث بمياه الصرف الصحى وانتشار الأمراض المعدية. وفى الواقع، فإن معظم المشاكل الصحية المتعلقة بالتلوث البيئى تعتبر نتيجة لتلوث الماء والغذاء والهواء بالكيماويات السامة. الأمراض الناتجة ليست معدية. بعض من الأمراض الغير معدية بالتلوث بالكيماويات السامة لها بداية مفاجئة وحادة، والتأثيرات الصحية الفورية والحادة يمكن تعقبها سريعاً بسبب ملوث

معين. مجموعة من المواد تعرف بالمعادن الثقيلة معروفة بخطورتها فى هذا المجال. بعض الأمراض الأخرى الغير معدية يمكن أن يستغرق سنين حتى يظهر المرض ويسبب مشاكل صحية مزمنة. عموماً مختلف الكيماويات العضوية المخلقة تسبب هذا النوع من المشاكل حتى ولو بتركيزات صغيرة جداً، بعض المواد العضوية تعتبر مسرطنة، بما لها من قدرة على إحداث مرض السرطان في جسم الإنسان.

الرصاص هو أحد المعادن الثقيلة التى تساهم فى الأمراض الغير معدية. المشاكل الصحية المرتبطة بالتسمم بالرصاص كانت نتيجة ابتلاع الأطفال لقشور البويات ذات الأساس من الرصاص. التسمم بالرصاص يمكن أن يسبب العمى، أمراض الكلى، والتخلف العقلى (خاصة فى الأطفال). خطورة الرصاص كملوث بيئى معروفة، فهو سم تراكمى، أى أنه يتراكم فى الأنسجة حتى يصل إلى مستويات السمية. لذلك فانه تم إيقاف استخدام إضافات الرصاص فى الجازولين. كما تم إيقاف استخدامه فى شبكات المياه سواء بالنسبة للوصلات المنزلية من الخط الرئيسى والذى تم استبداله بمواسير من البى فى سى وكذلك تم إلغاء استخدام الرصاص كمادة لحام بالملئ (Soldering) فى خطوط مواسير المياه.

الزئبق هو معدن ثقيل آخر مرتبط بالتلوث البيئى والمرض الغير معدى. فقد لوحظ أولا عندما تأثرت أعداد كبيرة من السكان قرب أحد الخلجان البحرية فى اليابان (Minamata Bay) فى عام ١٩٥٠. حيث كان يتم صرف مركبات الزئبق فى الخليج من مياه الصرف من المصنع المقام هناك، وهذه كان يتم تناولها بواسطة الأشخاص الذين يأكلون الأسماك الملوثه. وكانت النتيجة انتشار حاد للمرض نتج عنه أمراض العمى، الشلل، وحالات وفاة كثيرة. كذلك أعراض مرضية أقل شدة مثل شلل الأيدى أو ارتعاشها، الحساسية، ضعف الحيوية والنشاط.

أثناء حادثة الخليج اليابانى، كان المعروف أن أبخرة الزئبق ضارة، رغم أن الزئبق المعدنى نفسه لم يكن يعتبر من المواد الخطرة (فقد استخدم لزمن طويل فى مادة حشو الأسنان). والأبحاث بعد حادثة التسمم فى اليابان، أدت إلى اكتشاف أن كائنات دقيقة معينة يمكن أن تسبب اتحاد معدن الزئبق مع مواد أخرى فى الماء، لتكوين مركبات الزئبق الضارة مثل ميثيل الزئبق (Methyl Mercury). هذه المادة كانت تتغذى عليها كائنات صغيرة مجهرية فى الماء تسمى العوالق النباتية أو الحيوانية (Plankton) والتى تدخل السلسلة الغذائية. عند تناول الأسماك الملوثة حدثت حالات مرضية بميثيل الزئبق.

حادثة تسمم الزئبق فى اليابان هى مثال للمرض المفاجئ والحاد المرتبط بالتلوث البيئى. تركيز الملوث كان مرتفعاً نسبياً والآثار الضارة تم ملاحظتها خلال فترة زمنية صغيرة. ولكن يظل السؤال بالنسبة للتأثيرات المزمنة للتركيزات المنخفضة من مركبات الزئبق. عادة يتم اكتشاف كميات صغيرة من الزئبق فى الأسماك والكائنات البحرية حتى فى المسطحات المائية البعيدة عن الأنشطة الصناعية.

التخلص العشوائى من البطاريات والبطاريات الجافة من المصادر الكبيرة للزئبق. وقد أصبح ذلك مشكلة كبيرة بسبب صعوبة التخلص الصحيح لكثير من البطاريات نتيجة زيادة الصناعات الإليكترونية واستخدام الحاسبات اليدوية، الكاميرات، الساعات..الخ.

لسوء الحظ فإن الرصاص والزئبق ليسا فقط المواد الكيماوية الضارة التى أصبحت ملوثات للبيئة عند الإدارة الضعيفة. فمثلاً، المبيد الحشرى (Kepone) أحدث تلوث شديد لنهر جيمسى (James River) وخليج شيزابيك. نهر هدسون (Hudson River) حدث له تلوث بالمادة الكيماوية السامة (PCB - Polychlorinated Biphenyl) هذه المادة الزيتية استخدمت على نطاق واسع فى سوائل المحولات الكهربية، المبردات، البويات والمنتجات الأخرى. وهى تظل فى البيئة لأنها مادة غير قابلة للتحلل البيولوجى أى أنها لا تتحلل وتتشتت بالعمليات الطبيعية. مادة (PCB) تراكمت فى رواسب قاع الأنهار حيث تلوث منها أنواع كثيرة من الأسماك.

مثل المبيد DDT، فقد تم إيقاف استخدام PCB سواء بالتصنيع أو الاستخدام، ولكن نظراً لأن هذه المواد ذات استمرار كبير فى البيئة، فإنها ظلت تشكل خطورة على الصحة العامة لسنين طويلة بعد التخلص منها. بقايا من DDT، PCB سوف تظل موجودة فى أنسجة أجسام الحيوانات البعيدة عن مصادر التلوث. كلا هاتين المادتين تعتبر مواد مسرطنة للإنسان.

التلوث البيئى بالكيماويات الضارة وما يحدث من أمراض غير معدية هو جزء من المشكلة المعروفة حالياً بالتخلص من المخلفات الخطرة. والتى سيتم مناقشتها فى الفصل الخامس من الجزء الأول.

أخيرا فإن كثيراً من الأمراض الغير معدية يكون سببها تلوث الهواء الجوى وهذا سيتم مناقشته فى الفصل السادس من الجزء الأول.

٣- الأيكولوجى : (Ecology)

الإيكولوجى هو فرع من علم البيولوجى المرتبط بالعلاقات والتداخلات بين الكائنات الحية والطبيعة المحيطة أو البيئة. الكائنات الحية والبيئة التى معها تتبادل المواد والطاقة معاً يكونان نظام إحيائى (Ecosystem)، الذى هو الوحدة الأساسية لعلم الإيكولوجى. النظام الإحيائى يشمل المكونات الحياتية (Biotic Components)، النباتات والحيوانات الحية - المكونات الغير حية - الهواء، الماء، المواد المعدنية (Minerals)، التربة التى تكون البيئة. المكون الثالث والأساسى لمعظم النظم البيئية الطبيعية هو الطاقة، عادة فى شكل ضوء الشمس.

الأمثلة المألوفة للنظم البيئية ذات الأساس الأرضى أو ما يسمى (Terrestrial) تشمل الغابات، الصحارى، الأدغال، والمروج أى المساحات الخضراء. النظام البيئى (Ecosystem) المائى المبنى على الماء يشمل المجارى المائية، الأنهار، البحيرات، المستنقعات، الخلجان. لا يوجد حد معين لحجم وحدود النظام البيئى. البركة الصغيرة يمكن دراستها كنظام بيئى منفصل، والذى يمكن كذلك للصحراء التى تشمل مئات من الكيلو مترات المربعة.

حتى أن السطح الكلى للأرض يمكن النظر إليه كنظام بيئى، المصطلح المحيط الحيوى (Biosphere) هو المستخدم عادة فى هذا السياق. إذا أمكن تصور أن الأرض هى فى حجم التفاحة، عندئذ فإن طبقة الهواء المحيطة بها سوف لا تكون أكثر سمكاً عن قشرة التفاحة. هذا الغلاف الرقيق من الهواء والقشرة الضحلة من الأرض والماء أسفله مباشرة يوفر المكونات الغير حية (ABiotic Components) التى تعين على الحياة فى المحيط الحيوى. وهو نظام بيئى مقفل ذلك لأنه لا يوجد أساسا أى انتقال من المادة منه أو إليه. فقط التدفق المستمر للطاقة من الشمس التى توفر الطاقة لاستمرار الدورة الحياتية خلال المحيط الإحيائى.

المحيط الإحيائى يبدو كبيرا لدرجة أنه يكون من الصعب أحيانا الاعتقاد بأن الإنسان يمكن أن يؤثر أو يحدث اضطراب وإرباك فى اتزانه الطبيعى. ولكن المشاكل الكونية المتعلقة بتلوث البيئة، مثل المطر الحامضى، ثقب الأوزون، تأثير الصوبة هى من المشاكل الواضحة والتى يجب الحد منها مثل حدوث تغيرات بيئية غير قابلة للتغيير. هذا ومشاكل بيئية أخرى سيتم تناولها فى الفصل السادسمن الجزء الأول.

بالإضافة إلى النظام البيئى الطبيعى مثل البحيرات والغابات، فإن العديد من النظم البيئية الصناعية تكون ذات أهمية خاصة فى مجال تكنولوجيا البيئة. فمثلاً، أحد أهم طرق معالجة مياه الصرف مبنى على نظام بيولوجى يسمى عملية الحمأة المنشطة. وهذا نظام بيئى هندسى يشمل أحواض من الصلب أو الخرسانة بها أعداد هائلة من الكائنات الحية الدقيقة العالقة فى مياه الصرف، ومعدل دخول ثابت من الهواء. الميكروبات هى المكونات الحياتية. هذا النظام يزيل الملوثات العضوية من مياه الصرف. وسيتم مناقشته فى الجزء الثانى (الهندسة الصحية).

السلاسل الغذائية والأيض (الاستقلاب) : Food Chains and Metabolism

يوجد مبدأين أساسيين أو قانونيين للإيكولوجى: وهما يشملان التدفق للطاقة فى اتجاه واحد وتدوير المواد.

فالطاقة هى القدرة على عمل شغل (حركة). ويمكن تحويلها من شكل إلى آخر مثل التحول من الطاقة الميكانيكية إلى الكهربية أو من الطاقة فى شكل ضوء الشمس إلى طاقة كامنة مخزنة فى جزئيات الغذاء، ولكن لا يمكن أن تغنى أو أن تستحدث. لا يوجد تحول للطاقة بنسبة كفاءة ١٠٠%، فالبعض يفقد فى البيئة. بسبب هذا فإن الطاقة لا يمكن إعادة تدويرها فى النظام البيئى، حيث يمكن فقط أن تنساب فى طريق واحد.

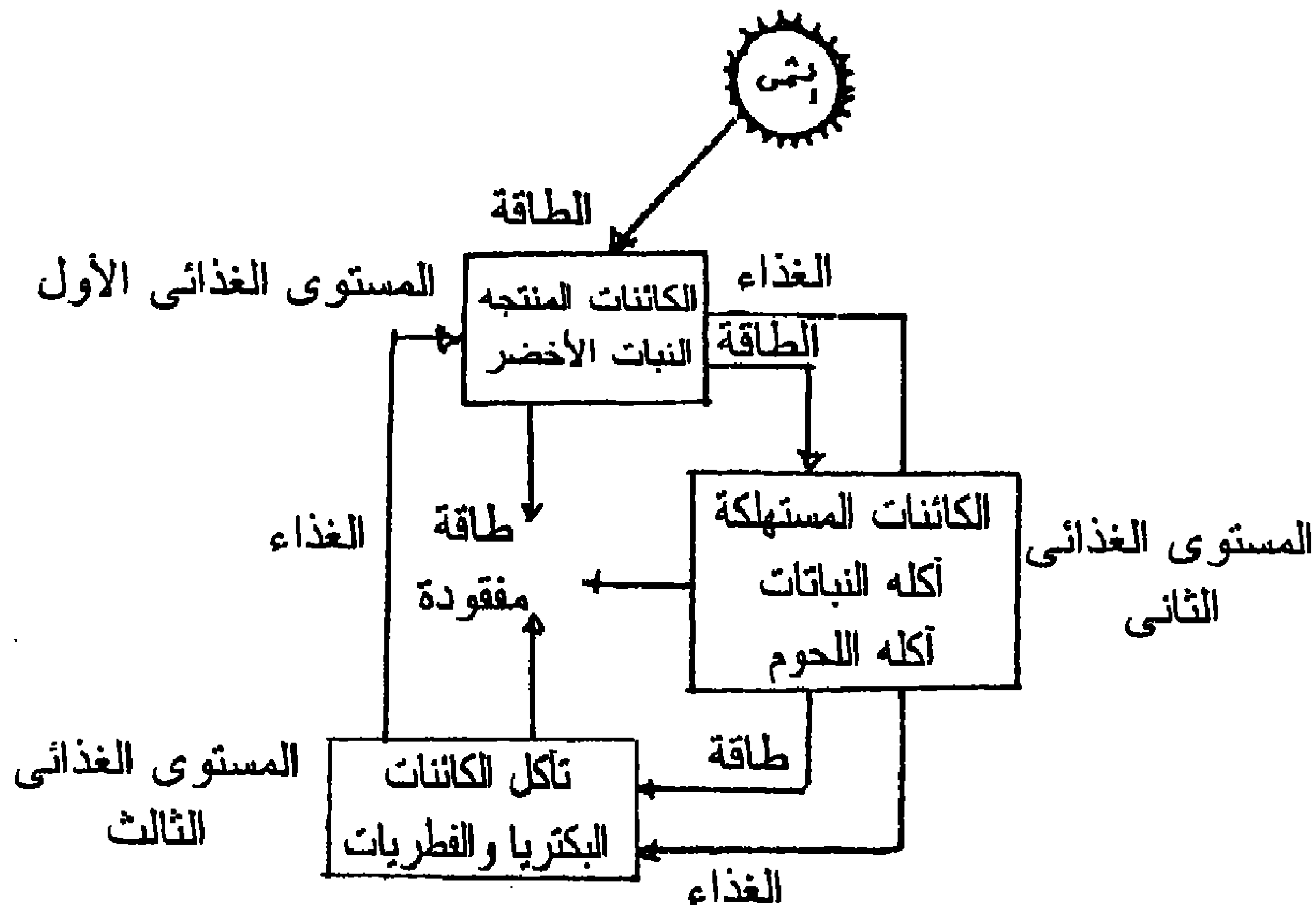
على الجانب الآخر، المواد الغذائية اللازمة لاستمرار الحياة يمكن اعادة استخدامها العديد من المرات. فهى باستمرار يتم تدويرها وإعادة استخدامها فى خلال النظام البيئى. السريان فى اتجاه واحد للطاقة والتدوير للغذاء موضح فى الشكل (١/٣). وهذا شكل مبسط جداً لسلسلة الغذاء، موضحاً ثلاثة مجموعات رئيسية أو أنواع من الكائنات الصغيرة وهى المنتجة (Producers)، المستهلكة (Consumers) والتى تقوم بالتحلل (Decomposers).

العمليات البيولوجية والكيماوية التى بها يستمر الكائن الحى فى الحياة تسمى الأيض (Metabolism). وتوجد عمليتين أساسيتين للأيض وهما التمثيل الضوئى (Photosynthesis) والتنفس (Respiration) والتى سيتم مناقشتهما باختصار. الكائنات الحية تحتاج إلى الطاقة كما هو موضح فى الشكل (١/٣)، المصدر الأول أو الأصلى للطاقة لكل النظم البيئية الطبيعية هو الشمس.

بالإضافة إلى الطاقة فإن الكائنات الحية تحتاج إلى كيماويات معينة من البيئة تسمى المواد الغذائية بكميات كافية. فكل الكائنات تحتاج إلى الماء، ومعظمها يحتاج إلى الأكسجين الغازى. بالإضافة فإن النباتات والحيوانات تحتاج إلى الكربون، الهيدروجين، الفوسفور، البوتاسيوم، اليود، النيتروجين، الكبريت، الكالسيوم، الحديد، المغنسيوم بالإضافة إلى عناصر أخرى بكميات صغيرة. بالنسبة للكائنات الحيوانية فإن بعض من هذه العناصر يجب أن يكون فى شكل جزئيات عضوية، مثل الكربوهيدريت أو البروتينات.

التمثيل الضوئى والتنفسى :_(Photosynthesis and Respiration)

السلسلة الغذائية الموضحة فى الشكل (١/٣) تبدأ بما يسميه علماء الإيكولوجى المستوى الغذائى الأول (First Trophic Level) للكائنات المنتجة. هذه هى النباتات الخضراء. فالنباتات الخضراء هى ذات غذاء أولى ذاتى (Auto trophic)، والذى يعنى ببساطة أنها تقوم بتغذية نفسها. فهى لها القدرة الفريدة على تحويل ثانى أكسيد الكربون والماء وبعض مواد الغذاء الأساسية إلى مركبات عضوية التى تقوم بتخزين طاقة الشمس.

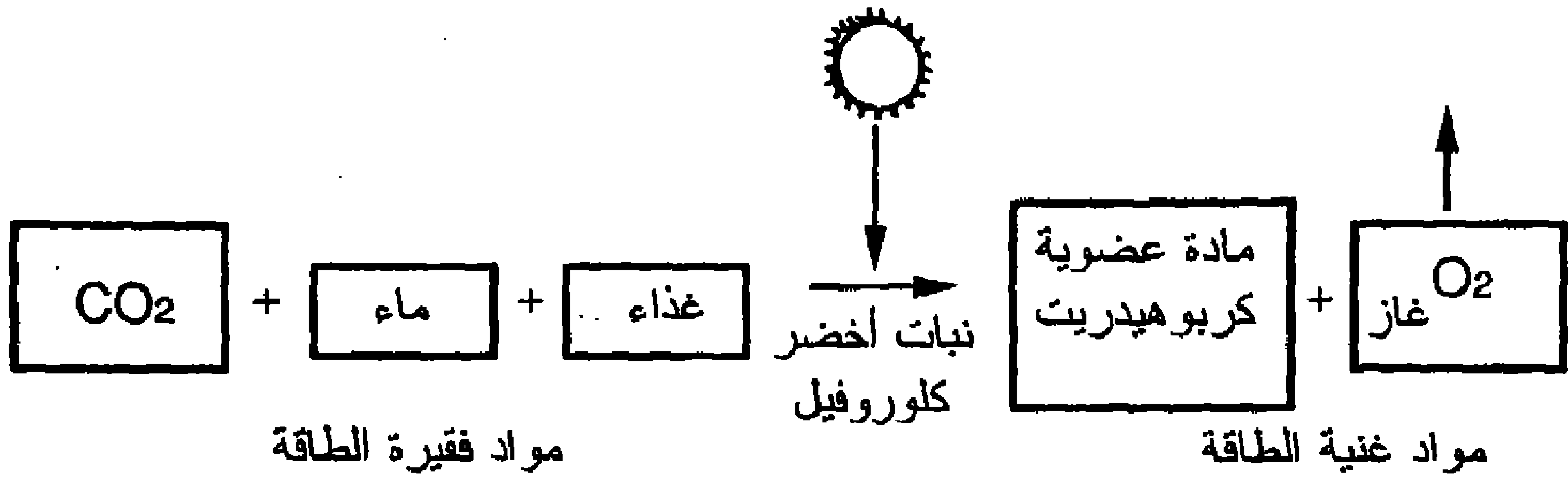


شكل (١/٣) مخطط لسلسلة الغذاء.

مواد الغذاء يعاد تدويرها ولكن الطاقة يجب إمدادها باستمرار من الشمس

وكفاءة انتقال الطاقة من مستوى غذاء إلى المستوى التالى أقل من ١٠%

العملية الطبيعية تسمى التمثيل الضوئى موضحة فى الشكل (١/٤). النباتات تستخدم الطاقة الشمسية لتكوين الكربوهيدريت من ثانى أكسيد الكربون والمــاء. الكربوهيــدريت يمكن كذلك أن يتحد مع النيتروجين، الفوسفور، الكبريت وعناصر أخرى، مكونا مركبات عضوية أخرى والتى هى عناصر البناء للكائنات الحية. الكلوروفيل الصبغة التى تعطــى للنبات لونه الأخضر المميز يقوم بدور محورى فى حجز الطاقة الشمسية وتحويلها إلــى طاقة كيميائية. جزء من المركبات العضوية الغنية بالطاقة المخزنة فى نسيج النبات تكون متاحة للاستخدام بواسطة الكائنات الأخرى التى تستهلك النبات عند المــستوى الغــذائى الثانى.



شكل (١/٤) مخطط لعمليات التمثيل الضوئى. الطاقة من الشمس

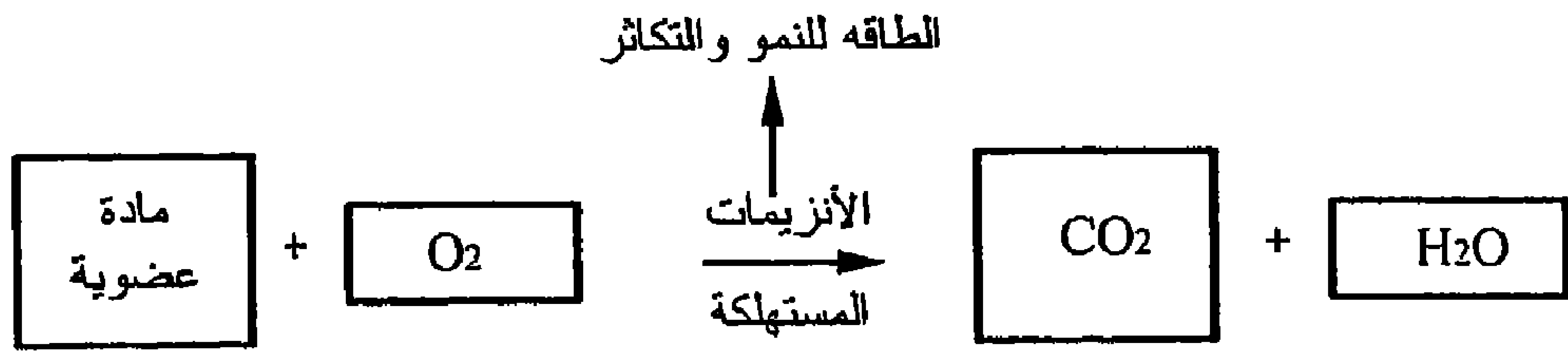
يتم تخزينها فى الجزئيات العضوية وتكون متاحة للاستخدام بالمستوى الغذائى التالى

أثناء عملية التمثيل الضوئى ينطلق غاز الأكسجين إلى الجــو. الأكــسجين أساســى للأيض للمستوى الغذائى الثانى فى السلسلة الغذائية، المستهلكون. فى الواقع فإن الكائنات المستهلكة تشمل العديد من المستويات الغذائية الوسيطة، متضمنة الحيوانات التى تقتــات على الأعشاب (Herbivores)، آكلات اللحوم (Carnivores)، والتى تقتات على النباتــات واللحوم معاً (Omnivores).

الكائنات المستهلكة هى كائنات عضوية التغذية (Heterotrophic)، ليست مثل النباتات ذاتية التغذية (Autotrophic)، التى تصنع غذائها من الكيماويات الغير عضوية البــسيطة، الكائنات التى تقتات على العشب يجب أن تستعمل المركبات الغنيــة بالطاقــة المخلقــة بواسطة النبات. وبالتالى فإن آكلات اللحوم تحصل على الطاقة لتقوم بالأيض عندما تقتات

على آكلات العشب. الطريقة التى يحصل بها المستهلك على الطاقة من المادة العضوية المخزنة فى النباتات والحيوانات التى يأكلها تسمى التنفس (Respiration).

التنفس الموضح فى الشكل (١/٥) يمكن النظر إليه كعملية احتراق بطيئة أو أكسدة للمادة العضوية، التى تنطلق فيها الطاقة. أساسا التنفس، هو عكس التمثيل الضوئى حيث ينتج الأكسجين، التنفس يكسر المواد العضوية ويطلق ثانى أكسيد الكربون. التمثيل الضوئى يحتاج إلى ثانى أكسيد الكربون والتنفس يحتاج إلى الأكسجين. وهذا هو أحد عوامل الاتزان الأساسى فى الطبيعة.



شكل (١/٥) مخطط للتنفس، عكس التمثيل الضوئى. تتحول المادة العضوية أو تحرق حيث تنطلق الطاقة المختزنة للاستخدام بكائنات المستهلك. الأنزيمات هى الكيماويات التى تساعد فى تفاعلات التحول (الأيض) التى تحدث فى الخلية الحية.

والسلسلة الغذائية المبسطة الموضحة فى الشكل (١/٣) تكتمل أو تقفل بعوامل التحلل (Decomposers) أو كائنات التحلل. وهذه هى أساساً كائنات حية صغيرة مجهرية مثل البكتريا والفطريات (Fungi). أثناء قيامها بعملية الأيض (Metabilism) والتى يعنى بها مجموعة العمليات المتصلة ببناء الخلايا ودثورها، فإن الكائنات الدقيقة هذه تقوم بتكسير المخلفات وبقايا الكائنات الميتة إلى مواد غير عضوية أبسط والتى تكون عندئذ جاهزة للاستخدام بواسطة الكائنات ذاتية التغذية. فمثلاً، النيتروجين فى الأمونيا غير متاح فى النباتات كغذاء لحين تكسيرها وتحويلها إلى النترات الغير عضوية بواسطة بكتريا معينة. النترات يمكن امتصاصها بواسطة النباتات. ليس فقط القائمين بالتحلل هم الأساس لكل عمليات النظم البيئية، فهى خيول العمل للنظم الهندسية لمقاومة تلوث المياه.

التحلل الهوائى واللاهوائى : Aerobic and Anaerobic Decomposition

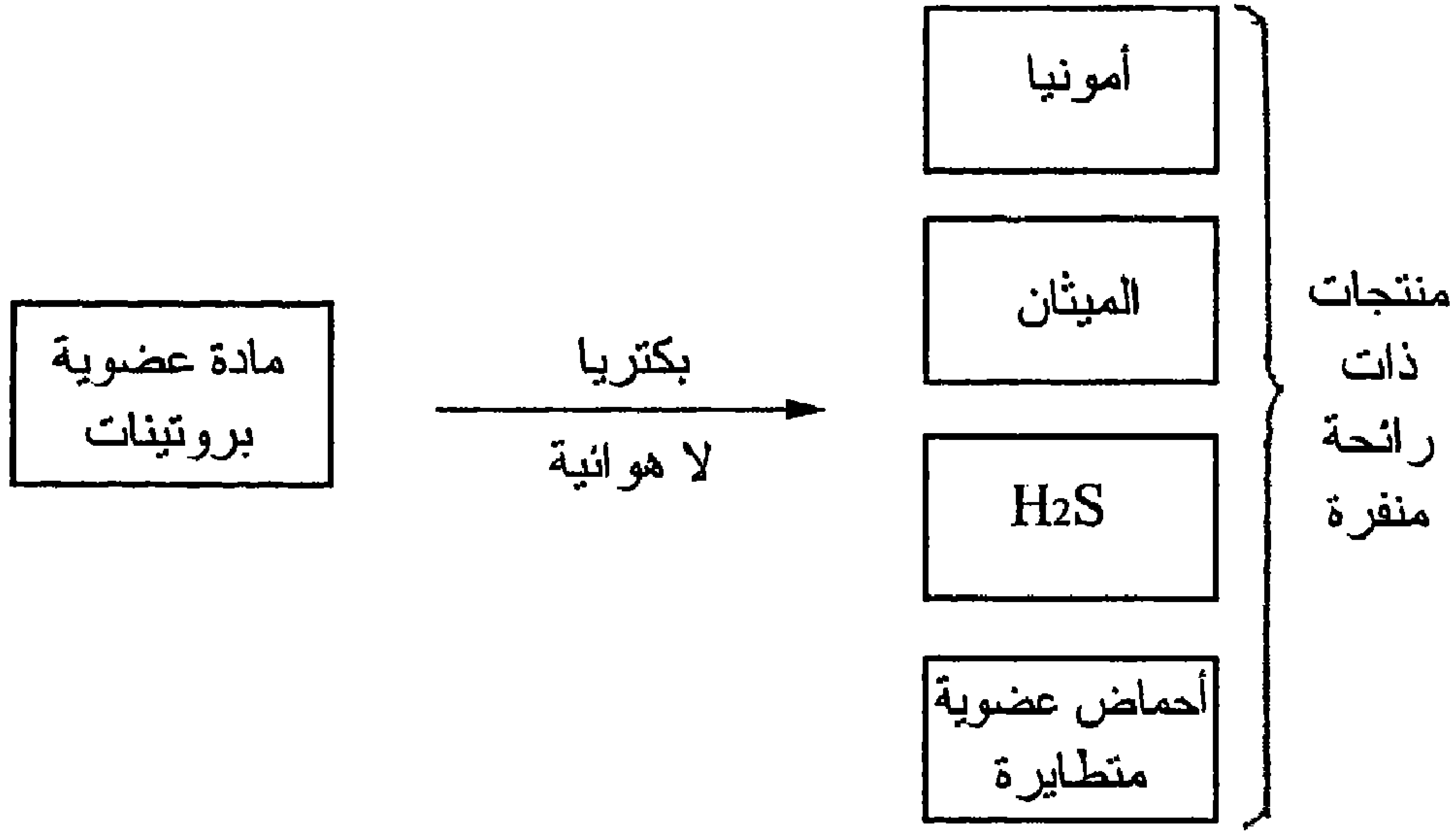
التحلل الذى يحدث فى وجود الأكسجين الحر يسمى التحلل الهوائى، والكائنات الدقيقة التى تعيش فى الأكسجين تسمى كائنات هوائية (Aerobes). التحلل الهوائى ينتج عنه

أكسدة للكربون، الهيدروجين، الكبريت، النيتروجين والفوسفور المرتبط فىجزئيات عضوية معقدة. هذه العناصر تصبح متحدة مع الأكسجين مكونة ثانى أكسيد الكربون، الماء، الكبريتات، النترات، ومواد بسيطة أخرى التى يمكن أن تأخذها النباتات الخضراء للتمثيل الضوئى. الطاقة المنطلقة من الجزئيات العضوية فى هذه العمليات تستخدم بواسطة الميكروبات للنمو والتكاثر. التحلل الهوائى هو عملية بيولوجية كيماوية نظيفة وذات كفاءة ولا تنتج الروائح الكريهة المصاحبة عادة بعمليات التحلل.

توجد أنواع معينة من الكائنات الدقيقة القادرة على تحلل المادة العضوية فى عدم وجود الأكسجين الحر المتاح. هذه الكائنات الدقيقة تسمى الكائنات اللاهوائية (Anaerobes)، والعملية تسمى التحلل اللاهوائى. كما موضح فى شكل (٦/١)، الناتج النهائى للتحلل اللاهوائى يشمل الميثان، النشادر، كبريتيد الهيدروجين، الأحماض العضوية المتطايرة، وكثير منها يكون مسئولاً عن الروائح الكريهة المصاحبة للتعفن (Putrefaction) (وهو التحلل اللاهوائى للبروتينات). كبريتيد الهيدروجين بالرمز الكيماوى (H_2S)، يسبب رائحة البيض الفاسد.

التحلل اللاهوائى هو عملية بيولوجية ليست ذات كفاءة. رغم أن الكائنات اللاهوائية تأخذ منها الطاقة لنموها وتكاثرها، فإن المنتجات النهائية لازالت غير مستقرة نسبياً ويمكن أن تتحلل ثانياً. التحلل اللاهوائى يشبه الاحتراق الغير كامل. فهو يقوم بدور أساسى فى بعض عمليات معالجة المياه. وغاز الميثان وأحد نواتج التحلل اللاهوائى القليلة التى ليس لها رائحة، له قيمة طاقة عالية حيث يمكن الاستفادة منه كوقود، حيث يتم جمعه لهذا الغرض فى بعض محطات معالجة مياه الصرف الصحى وكذلك فى عمليات الردم الصحى.

نوع التحلل اللاهوائى المفيد فى إنتاج مواد غذائية معينة وبعض المشروبات يسمى التخمر (Fermentation). تحلل الكربوهيدريت بالميكروبات بدون أكسجين حر. رغم أنها تستخدم لإنتاج الجبن والكحول، كمثال، فإن بعض أنواع التخمر ليس مرغوباً فيه مثل تلك التى تفسد اللبن (تجعله حامضاً) أو المنتجة لحامض الأسيتيك فى النبيذ.



شكل (٦/١) تحلل لاهوائى للبروتينات فى عدم وجود الأكسجين الحر يسمى التخمر

الدورات البيولوجية : (Biological Cycles)

رغم أن النظام البيئى يحتاج إلى مصدر ثابت للطاقة من الخارج، فإن المواد الغذائية التى تعتمد عليها الحياة يمكن تدويرها إلى ما لا نهاية. الممر الذى تتحرك فيه الأغذية الكيماوية خلال المكونات الحيوية والغير حيوية (Biotic - Abiotic) فى النظام البيئى تسمى الدورات البيولوجية الكيميائية (Biochemical) أو دورات الغذاء.

الدورة ذات العلاقة الخاصة بتكنولوجيا البيئة هى الدورة الهيدرولوجيه (دورة الماء فى الطبيعة). والتى سيتم مناقشتها فى الفصل الثالث. دورات الغذاء الهامة التى سنتناولها هنا هى دورة الكربون، دورة النيتروجين، ودورة الفوسفور.

الكربون والنيتروجين والفوسفور تعتبر من مواد الغذاء الأساسية ذلك لأن الحاجة إليها تكون بكميات كبيرة نسبياً فى البروتوبلازم، وهى المادة الأساسية التى تعمل منها الخلية الحية، المواد الغذائية الأخرى المطلوبة بكميات كبيرة نسبياً والأساسية للحياة تشمل الهيدروجين، الأكسجين، البوتاسيوم، الكالسيوم، المغنسيوم والكبريت. المواد الغذائية الكثيرة المطلوبة فقط بكميات صغيرة جداً، تشمل الحديد، المنجنيز، النحاس، الزنك والصوديوم.

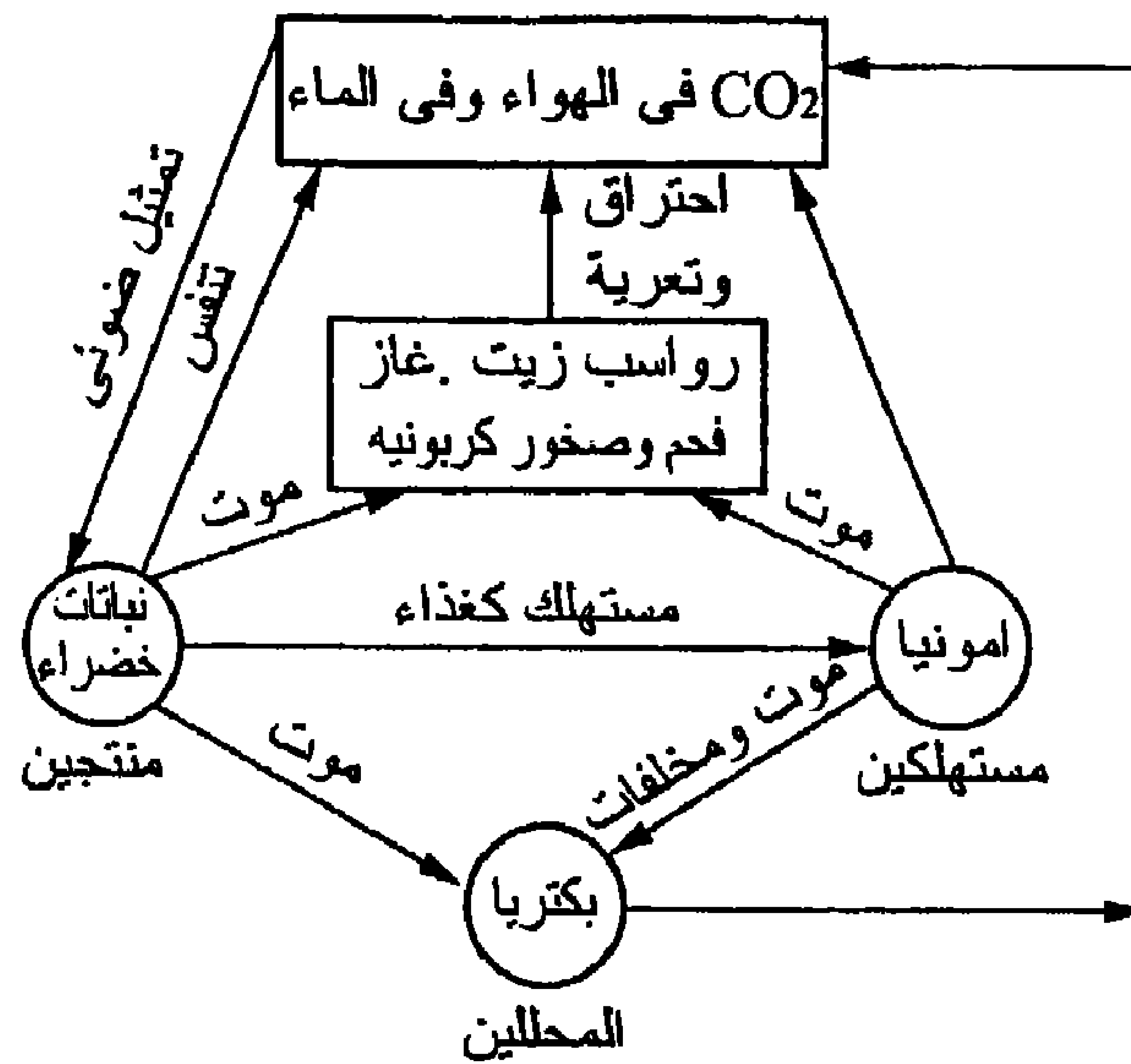
دورة الكربون : Carbon Cycle

ثانى أكسيد الكربون (CO_2) الموجود فى الهواء والمذاب فى الماء هو المصدر الأول لعنصر الكربون. خلال عملية التمثيل الضوئى، يزال الكربون من ثانى أكسيد الكربون ويدمج مع عناصر كيماوية أخرى فى جزئيات عضوية معقدة. ثانى أكسيد الكربون يجد طريقاً ثانياً إلى الجو عند تحلل المواد العضوية ثانياً أثناء عملية التنفس. مخطط لهذه الدورة موضح فى الشكل (١/٧).

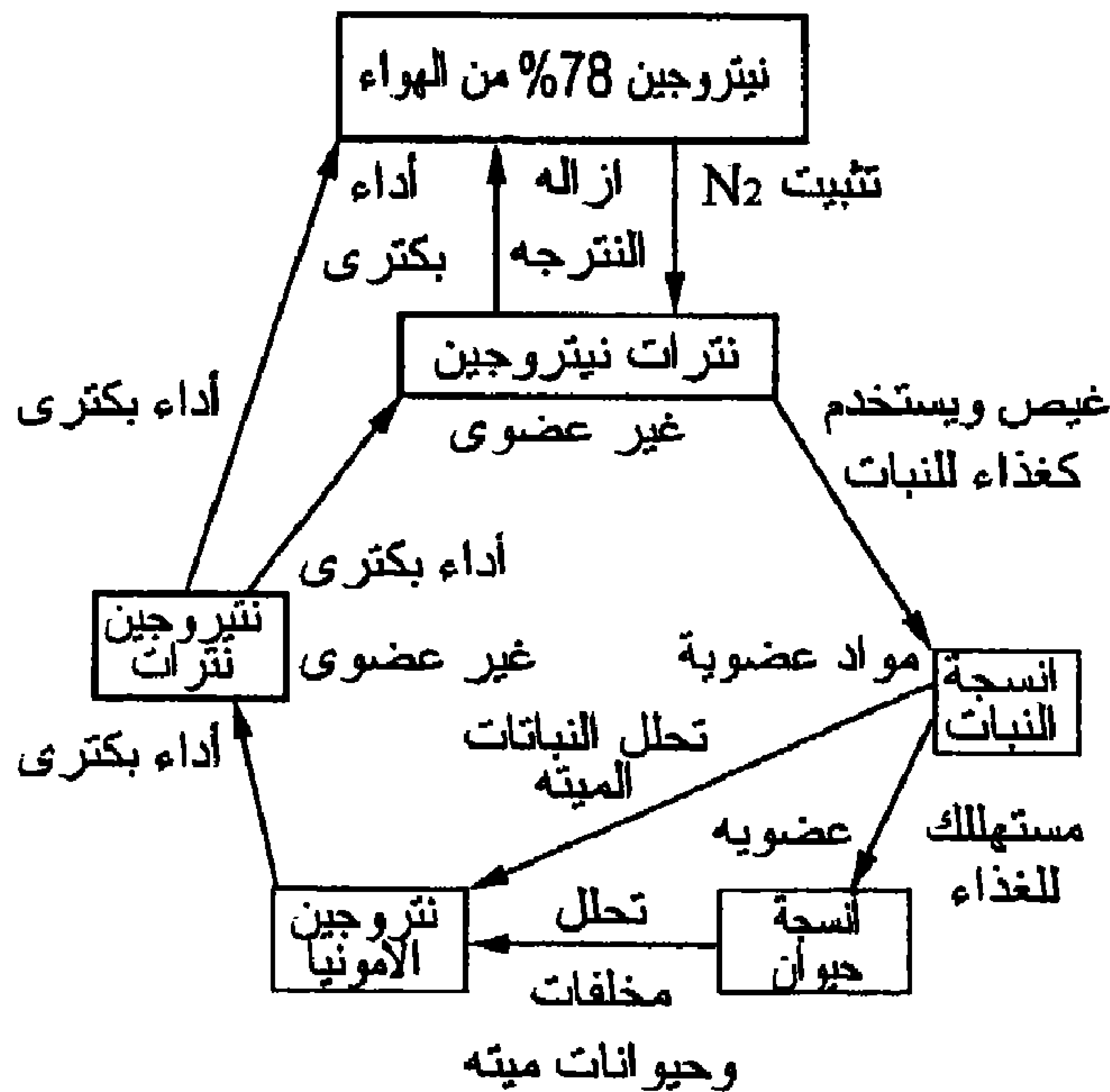
احتراق الوقود الحفرى (الزيت والجازولين) للطاقة هو نشاط بشرى الذى يزيد من تركيز ثانى أكسيد الكربون فى الجو. يؤدى ثانى أكسيد الكربون دوراً فى امتصاص الإشعاع الحرارى وفى تنظيم درجة حرارة الكرة الأرضية. ارتفاع مستويات ثانى أكسيد الكربون يعمل على ارتفاع متوسط درجة الحرارة. هذه المشكلة تسمى تأثير الصوبة (Green House Effect). سنناقشه فى الفصل السادس.

دورة النيتروجين : (Nitrogen Cycle)

حوالى ٧٨% من الغلاف الجوى يكون من غاز النيتروجين (N_2) ولكن فى الشكل الجزيئى. النيتروجين يجب أولا تثبيته فى شكل نترات (NO_3)، فى الشكل الذى يمكن استخدامه بواسطة النبات أثناء عملية التمثيل الضوئى. فهو أخيراً يتحد مع مواد أخرى ويتحول إلى البروتينات، التى تستهلك بواسطة الكائنات متباينة التغذية والتى لا نستطيع تكوين غذائها (Heterotrophs) وتتكسر ثانياً فى عملية التحلل. هذه الدورة موضحة فى الشكل (١/٨). النترجة (Nitrification) هى العملية التى فيها يتحول النيتروجين فى شكل أمونيا NH_4 إلى نيتروجين النترات، هذه ذات أهمية خاصة فى الحد من تلوث المياه .



شكل (١/٧) مخطط مبسط لدورة CO_2. الأسهم تشير إلى الاتجاهات المختلفة لانتقال الكربون خلال المحيط الجوى



شكل (١/٨) مخطط مبسط لدورة النيتروجين

النيتروجين الجزيئى يجب تثبيته أولاً (الاتحاد مع الأكسجين) فى شكل نيتروجين النترات قبل الاستخدام بواسطة البنات كغذاء.

دورة الفوسفور :

الفوسفور هو نوع آخر من الغذاء الذى يقوم بدور أساسى فى النظام البيئى المائى وفى نوعية الماء. بخلاف الكربون والنيتروجين الموجودين أساساً فى الجو فإن الفوسفور يوجد بكميات كبيرة فى شكل مواد طبيعية معدنية فى صخور الفوسفات ويدخل الدورة نتيجة عمليات أنشطة استغلال المناجم وعوامل التعرية. وهذا هو الغذاء الذى يعتبر السبب الرئيسى للنمو الزائد للنباتات المجهرية حرة الطفو وذات الجذور فى المسطحات المائية (السحابات الطحلبية).

الاستقرار، النوع ، التعاقب : Stability , Diversity and Succession

جميع أجناس الكائنات الحية تشغل موطن معين وتقوم بدور معين فى النظام البيئى. الوظيفة والمكان يكونان البيئة الأيكولوجية الملائمة (Ecological Niche). الخاصة الأساسية للنظام البيئى المتوازن أو الصحى هو تطابق الأماكن الملائمة (Niches) والتى تشغلها أجناس مختلفة. كلما زاد كان النظام البيئى معقداً بالنسبة للأعداد والتداخل فى العلاقات بين الأجناس المختلفة، كلما أصبح أكثر استقرارا. النظام البيئى المستقر يمكن أن يقاوم ويتحمل بعض الضغوط الخارجية، مثل التلوث، الإنشاءات، أو الصيد بدون أن يحدث له اضطراب أو تدمير.

فى النظام البيئى المستقر، فى حالة اختفاء أى واحد من الأجناس بسبب عوامل طبيعية أو صناعية، فإن أجناس أخرى تكون متاحة لتشغل مكانها وتقوم بدورها فى السلسلة الغذائية. حقيقة، المصطلح، نسيج الغذاء (Food web) أكثر ملاءمة للنظام البيئى الصحى بسبب طبيعة التطابق وتعقيدات العلاقات بين الأكل وما يؤكل. نموذج الغابة الممطرة يعتبر مثال جيد للنظام البيئى المستقر بسبب العدد الهائل من أصناف النبات والحيوان التى تعيش فيها. فقد نوع واحد من الأشجار أو نوع واحد من الحيوان ليس من المحتمل أن يكون له تأثير واضح على كل النظام البيئى. فى النظام البيئى قليل التنوع، أى حيث قليل الفقد من الأجناس المختلفة من الكائنات، فإنه يكون غير مستقراً ومعرض لتأثيرات الإجهاد. اختفاء مجموعة من الكائنات من النسيج الغذائى من المحتمل كثيراً أن يحدث انكسار فى المستوى الغذائى محدثاً اضطراباً حاداً فى النظام البيئى. لذلك فإن تنوع الأجناس يوفر عامل الأمان أو عامل درئ (Buffer) ضد الاضطرابات الإيكولوجية

(البيئية) بزيادة احتمال التبنى لتغير حالات البيئة. كلما زاد تنوع الأجناس كلما كان النظام البيئى صحيحاً.

رغم أن النظم البيئيه المائية مثل المجارى المائية والبحيرات تكون مستقرة عموماً، إلا أنها حساسة بالنسبة للاضطراب الناتج عن الأنشطة البشرية. مخطط للنظام المائى موضح فى الشكل (١/٩). معظم الكائنات المطلوبة بدءاً من الأسماك حتى الكائنات الصغيرة النباتية والحيوانية (البلانكتون) والبكتريا تحتاج إلى الأكسجين لتعيش.

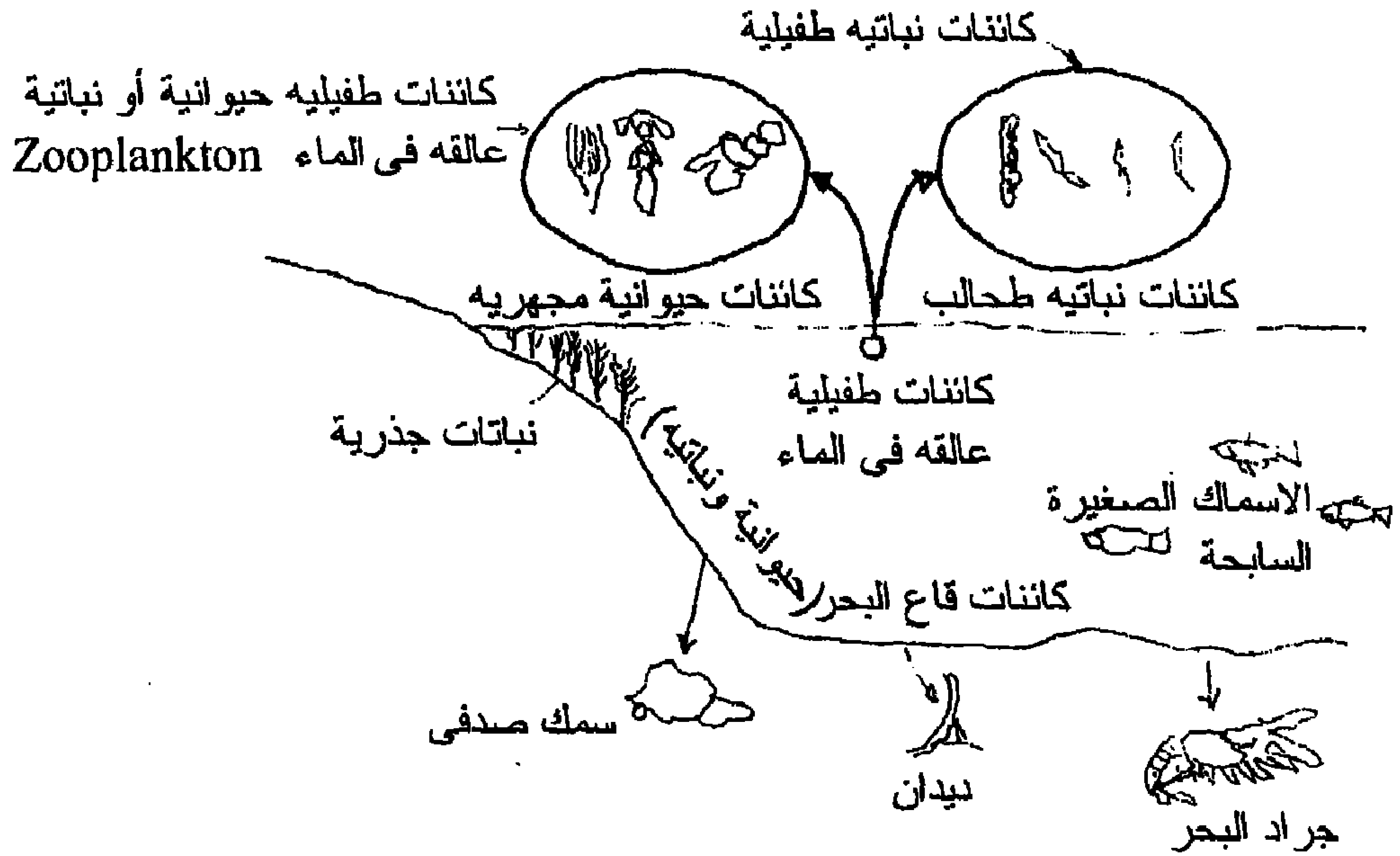
أحد التأثيرات لتلوث الماء هو انخفاض مستوى الأكسجين المذاب في الماء. هذا النوع من التلوث يغير من الاتزان الايكولوجى، حيث ينشط عدد أقل من أجناس الكائنات القادرة على تحمل المستويات المنخفضة من الأكسجين. فى المياه شديدة التلوث التى يعيش فقط هى ديدان الحمأة.

عند دراسة الحالة الصحية أو نوعية المجرى المائى أو البحيرة، قد يستخدم علماء الايكولوجى (فرع من علم الأحياء لدراسة العلاقة بين الكائنات الحية وبيئتها). يمكن أن يستخدموا معادلة لحساب مؤشر التنوع للنظام البيئى.

فى الدراسة الحقلية، عدد الأجناس المختلفة يتم عده ويتم تقدير أعداد كل نوع بأخذ عينات من مساحات محدودة. هذه البيانات تستخدم فى معادلة مؤشر الاستقرار، ويتم تحديد مؤشر أو عدد واحد لتمييز النظام البيئى.

عموماً المؤشر المنخفض للتنوع هو دليل للنظام البيئى الملوث، والأجناس القادرة على تحمل التلوث يمكن التعرف عليها بسرعة. في المجرى المائي النظيف مثلاً، يمكن وجود أنواع مختلفة كثيرة من الأسماك بما فيها سمك البلطى. ولكن فى المجرى المائى الملوث فقط قليل من الأنواع القادرة على التحمل يمكن أن توجد مثل السلور (Cat fish).

من المهم التحقق من أنه حتى النظم البيئية الصحيحة وذات الاتزان الجيد تتغير مع الوقت فى عملية تسمى التعاقب الطبيعى. فمثلاً البحيرة قد تصبح ضحلة عند تراكم الطمى والمواد العضوية فى رواسب القاع. ومع مرور الوقت تتحول البحيرة إلى مستنقع وأخيراً إلى سبخات. هذا التغير الطبيعى فى البحيرة يسمى فرط النماء الطحيلى (Eutrophication) والذى سيناقش فى الفصل الثانى. كما هو موضح هنا، هذه العملية الطبيعية يمكن أن تتأثر بفعل الأنشطة البشرية والتلوث.



شكل (١/٩) النظام البيئى المائى

موضحا مكونات بيولوجية مختلفة للمياه العذبة أو البحرية.

رغم أن البحيرة، المستنقع، السبخات يمكن أن تكون نظام بيئى صحي ومستقر أثناء فترة حياة كل منهم، فإن العمليات الجيولوجية والبيولوجية سوف تسبب التعاقب من مرحلة إلى أخرى. إذا كانت الظروف الجيولوجية وظروف المناخ مناسبة فإن عملية التعاقب الطبيعى سوف تستمر حتى الوصول إلى ذروة المناخ. فمثلاً، السبخات، حيث البحيرة قد أصبحت غابة خشبية فى كثير من النظام البيئى المعتدل. التعاقب الطبيعى رغم أنه يحدث خلال فترة زمنية طويلة إلا أن التغيرات ليست عادة منظورة أثناء فترة الحياة البشرية.

الرصد البيولوجى فى البحيرات والمجارى المائية :

الحشرات الصغيرة والكائنات الأخرى التى تعيش على قاع المجارى المائية والبحيرات تكون جزءا هاماً من نسيج الغذاء المائى. علماء الايكولوجى يسمونها القاعية (Benthic) أى التى تعيش فى القاع. اللافقارية الكبيرة (Macroinvertebrates). وهذه حساسة لعوامل كثيرة فى بيئتها وهى مفيدة كمؤشر لحالات أو "صحة" المجارى المائية والبحيرات. الرصد الروتينى لهذه الكائنات اللافقارية أو أخذ العينات (حوالى ست مرات

فى العام) يمكن أن يبين المشاكل التى لا يمكن اكتشافها بسهولة بالاختبار الكيماوى، ويمكن كشف مشاكل التلوث التى لا تظهر فى عينات المياه .

الكائنات اللافقارية تعتمد على نوعية المياه المناسبة للعيش. الوقت اللازم لعودة مجتمع حشرات إلى حالته الطبيعية بعد الاضطرابات، مثل تلك الناتجة من التلوث الصناعى يمكن أن يكون فى حدود كثير من السنين للمجارى المائية وعقود للبحيرات. نتيجة لذلك، فإن التغيرات فى أنواعها وفى أعدادها يمكن أن يظهر التلوث من مختلف المصادر. أخذ العينات البيولوجية ورصد هذه التجمعات يوفر طريقة مؤثرة لتعيين ما إذا كان المصدر المائى قد تعرض للتلوث. (من المفضل أخذ العينات إما فى الربيع عندما تكون المرحلة الأخيرة لليرقات ولكن لم تبدأ بعد النضج النهائى، أو فى نهاية الحمل بعد تزاوج معظم الأجناس).

تم التقرير عن ما يزيد عن ٤٠٠٠ نوع من الحشرات المائية. هذه الكائنات اللافقارية القاعية هى مجموعة عالية التنوع، والتى تجعل منها دراسة ممتازة للمهتمين بالتغيرات فى التنوع.

التغير فى أعداد المجموعات أو سلوك هذه الكائنات يمكن أن يبين أن الحالات الطبيعية أو الكيميائية خارج حدودها المفضلة. كذلك، وجود العديد من عائلات الكائنات شديدة المقاومة عادة هو دليل لرداءة نوعية المياه.

التكبير البيولوجى : (Biological Magnification)

عندما لا يستطيع الكائن الحى الأيض (Metabolize) أو أن يفرز المادة المهضومة، فإن تلك المادة تتراكم بالتدريج فى الكائن الحى. هذه الظاهرة تسمى التراكم البيولوجى، والذى يشير إلى العملية التى بها الدخول الأول للمادة فى السلسلة الغذائية. والدرجة التى يحدث بها التراكم البيولوجى تتوقف على أيض الكائن الحى (أى عملية بناء البروتوبلازم) وإذابة المادة. فإذا كانت المادة مذابة فى الدهون، فإنها سوف تتراكم فى الأنسجة الدهنية للكائن الحى. والتراكم البيولوجى له علاقة معينة عندما تكون المادة الجارى تراكمها وتركيزها أنها مادة سامة وملوثة للبيئة وأن الكائن الحى يكون ذو مستوى غذائى منخفض نسبياً فى السلسلة الغذائية.

عند استهلاك كثير من الكائنات الملوثة بواسطة كائن آخر الذى لا يستطيع الأيض أو الإفراز للمادة، فإن تركيز المادة سوف يزداد إلى مستويات أعلا فى الكائن الثانى.هذا التأثير يتم تكبيره عند كل تعاقب للمستوى الغذائى، وهذه العملية تسمى التكبير البيولوجى.

بمعنى آخر، التكبير البيولوجى هو الزيادة المستمرة فى تركيز المادة عند تحركها من أحد مستويات السلسلة الغذائية إلى التالية (مثلاً، من البلانكتون إلى الأسماك إلى الطيور أو إلى الإنسان). التكبير البيولوجى ذو أهمية معينة عند تركيز الكيماويات إلى مستويات ضـارة فى الكائنات الحية الأعلى فى السلسلة الغذائية. حتى التركيزات المنخفـضة جـداً مـن الملوثات البيئية يمكن أن تجد طريقها إلى الكائنات فى جرعات عالية تكفى لتسبب مشاكل حادة.

ويحدث التكبير البيولوجى فقط عندما تكون الملوثات مقاومة للتأثيرات البيئية (تستمر لفترة زمنية طويلة قبل أن تتحلل إلى مركبات بسيطة، متنقلة، مذابة فى الدهون. إذا كانت غير ذات مقاومة فإنها سوف لا تستمر كثيراً فى البيئة لتكـون مركـزة فـى السلـسلة الغذائية). (المادة المقاومة هى المادة التى لا تتحلل بيولوجيا). إذا كانت غير متنقلـة، أى ليس من السهل انتقالها أو تحريكها من مكان إلى آخر فى الوسط البيئى، فإنه لـيس مـن المحتمل استغلالها بواسطة كثير من الكائنات. أخيراً، إذا كانت مذابة فى الماء أكثر منـه فى الأنسجة الدهنية. فإن الاحتمال الأكبر أن يتم إفرازها بواسطة الكائن قبل أن تتـراكم إلى المستويات الخطيرة.

تأثير الـ (DDT) : (Impact Of DDT)

حادثة التسمم بالزئبق نتيجة استهلاك الأسماك الملوثة فى الخليج اليابانى عام ١٩٥٠ هى مجرد مثال للتأثير الضار للتكبير البيولوجى. المثال التقليدى الآخر يشمل مادة (DDT) وهو اختصار للمادة الكيماوية العضوية (Dichloro Diphenyl Trichloroethane) والتـى تستغرق وقتاً طويلاً للتحلل فى البيئة. فعمر النصف لها هو ١٥ عام، فى حالة انطـلاق ١٠ كيلو جرام فى الجو من (DDT) فى عام ٢٠٠٠، فإن ٥ كيلو جرام تظل مقاومة حتى عام ٢٠١٥، ٢,٥ كيلو جرام سوف تظل حتى عام ٢٠٣٠، وحتى بعد ١٠٠ عام وفى عام ٢١٠٠ سوف يتم اكتشاف أكثر من ١٠٠ جرام من المادة فى البيئة. ومن الطبيعى، قبـل امتداد هذا الفاصل الزمنى فإن بعض من الـ DDT يمكن أن يـتم اسـتهلاكه بواسـطة الكائنات الحية التى تبحث عن الغذاء، وبذا فإن المادة تدخل فى سلسلة الغذاء.

DDT يعتبر سام للحشرات، ولكنه ليس شديد السمية للإنسان، فقد استخدم فى الحرب العالمية الثانية لحماية الجنود الأمريكيين من بعوضة الملاريا وكذلك لمنع انتشار حـشرة الفراش ومقاومة أمراض حشرة الفراش بين المدنيين فى أوربا. بعد الحـرب اسـتخدمت مادة DDT لمقاومة الحشرات التى تهدد الحاصلات الزراعية وكذلك لحماية الإنسان مـن

الأمراض التى تحملها الحشرات. كأحد أول المبيدات الحديثة المستخدمة كثيراً، إلا أنه فى ١٩٦٠ ظهرت بوضوح مشكلة التكبير البيولوجى المتعلقة بمادة (DDT). فقد نشر كتاب الربيع الصامت (Silentspring) فى عام ١٩٦٢ حيث حذر من المخاطر البيئية المصاحبة لاستمرار استخدام مادة (DDT). ومنذ هذا التاريخ بدء التوقف عن تصنيع واستخدام مادة DDT. ولكن إذا كانت مادة (DDT) ليست شديدة السمية، لماذا كانت هناك مشكلة مع استخدامها ؟ الصعوبة تكمن فى الأثر البيئى السئ لمادة (DDT) على أعداد الطيور، وخاصة بالنسبة لترقيق أغلفة البيض والأثر الضار لترقيق البيض وحياة فقس البيض. فالعقاب التى تألف البحار وتأكل السمك (Ospreys) والنسر الأصلع قد تأثرت كثيراً مثل باقى الأنواع. ومنذ توقف استخدام مادة (DDT) فى الولايات المتحدة فى عام ١٩٧٢ تم استعادة تجمعات كثيرة من الطيور، ولكن التعرض فى البلاد الأخرى يمكن أن يظل مشكلة لبعض أنواع الطيور. (يلاحظ أنه بالإضافة إلى التأثير على تكاثر الطيور وقبل حظر استخدام DDT وجد فى لبن الأمهات بمستويات سبعة أضعاف المستوى المقرر بما كان له الأثر السئ على صحة الإنسان).

وكثيراً من المواد الأخرى بالإضافة إلى الزئبق و (DDT) يحدث لها تراكم بيولوجى وتكبير بيولوجى فى النظام البيئى. وهذه تشمل النحاس، الكادميوم، الرصاص، ومعادن ثقيلة أخرى، المبيدات خلاف DDT، السيانيد، السيلينيوم، مادة (PCB'S).

٤- الجيولوجيا والتربة : (Geology and Soils)

إلى حد كبير يتم التخلص من المخلفات الصلبة والسائلة على أو تحت سطح الأرض. العلاقة الهامة فى تكنولوجيا البيئة هى التفاعل لمواد المخلفات هذه ومصادر المياه الطبيعية الموجودة. المحافظة على نوعية المياه الجوفية ذات أهمية خاصة، وهى ترتبط بأنواع وخواص التربة. نظراً لأن التربة تحتوى على أجسام صخرية غير متماسكة، فإن ذلك سوف يساعد المتلقى على تفهم هذا الموضوع من خلال الآتى:

أنواع الصخور (Types of Rock)

الصخور تتكون من مواد غير عضوية تسمى المعدنية (Minerals). بعض المواد المعدنية المألوفة مثل الكوارتز، الميكا، الفلدسبار، الكالسيت، الماجنيتيت، والكاولين، العناصر الكيماوية الأساسية التى تتكون منها هذه المواد المعدنية تشمل السليكون، البوتاسيوم، الألومنيوم، الكالسيوم، الحديد، الأكسجين وعناصر أخرى كثيرة.

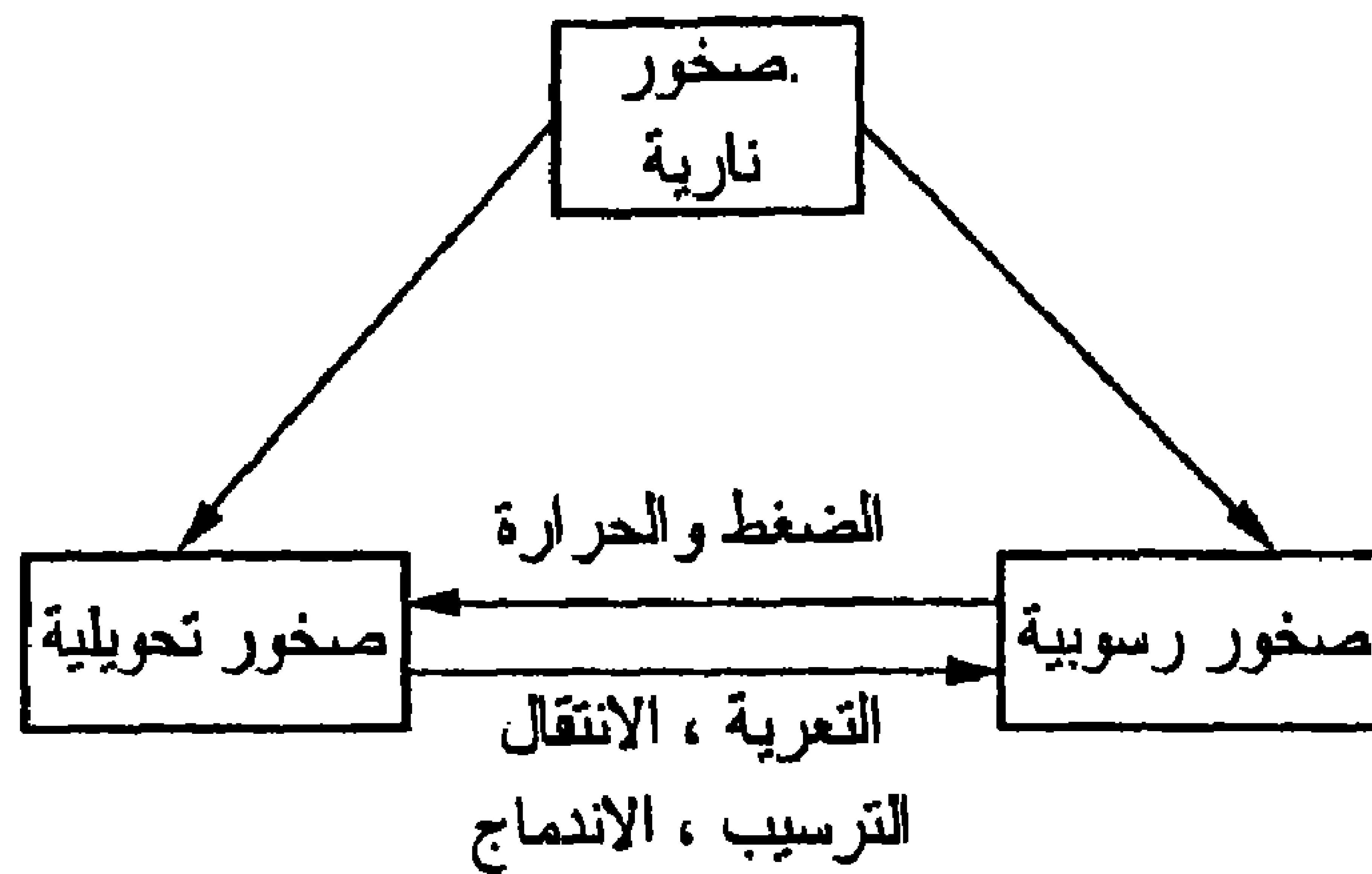
الأنواع الرئيسية الثلاثة للصخور هى الصخور النارية أو البركانية (Igneous)، الصخور الرسوبية (Sedimentary) والصخور التحويلية (Metamorphic). الصخور النارية التى تكون معظم القشرة الصلبة للكوكب، والتى بردت وتجمدت من الحالة الساخنة المنصهرة. الجرانيت، يتكون أساساً من مواد معدنية هى الكوارتز والفيلدسبار وهو النوع العادى من الصخور النارية.

حتى أن أكثر الصخور النارية صلابة وقدرة على التحمل المعرضة لسطح الأرض تكون عرضة للتفكك الطبيعى والتحلل الكيماوى. التغيرات فى تكوين وبناء الصخر تحدث باستمرار بسبب تأثير الرياح، الماء، التغيرات فى درجة الحرارة، ثانى أكسيد الكربون، والأكسجين. هذه العملية المتدرجة تسمى التعرية (Weathering). الصخر الصلب المكون من مواد معدنية متماسكة ينكسر إلى قطع صغيرة نسبياً وغير متماسكة والتى تسمى التربة (Soil). عند تحرك جسيمات التربة بفعل الرياح أو الماء وترسب فى مكان ما، فإنها تكون رواسب (Sediments). هذه الرواسب يمكن أن تغطى أسفل رواسب مادة إضافية، حيث يتم دمجها وتماسكها تحت أحمال الطبقات العليا. ومع الوقت، كسور التربة يمكن أن تلتصق معاً، مكونة نوع آخر من الصخور يسمى الصخور الرسوبية.

الحجر الرملي، المتكون من حبيبات الرمل المتماسكة والطين الصفحى (Shale وهو صخر من الصلصال أو الطين ويسهل انفلاقه إلى طبقات) يتكون من الطين المتماسك والملدن (الغرين أو الطمى (Silt)، الطفلة) هو من الصخور الرسوبية العادية. الحجر الجيرى الذى يتكون أساساً من مادة الكالسيت (كربونات الكالسيوم $CaCO_3$) والذى تبلور فى البيئة البحرية هو كذلك من نوع الصخور الرسوبية الموجودة بكثرة.

تحت ظروف زيادة الضغط ودرجة الحرارة بفعل الظروف البيئية، فإن كلاً من أنواع الصخور النارية والرسوبية يمكن أن تتحول من شكلها الأصلى والبناء المعدنى. والصخر الجديد المتكون يسمى الصخر التحويلى (Metamorphic). الرخام والأردواز هما من الأمثلة المألوفة لهذا النوع الأساسى الثالث من الصخر. الرخام يتكون فى شكل كربونات الكالسيوم المتبلرة والمسمى كالسيت (calcite) حيث يحدث التبلر بفعل الحرارة والضغط. الأردواز (Slate) هو مكافئ تحويلى للطين الصلصالى (Shale)

كلاً من الصخور الرسوبية والتحويلية يمكن أن تتعرض ثانيا لتحولات مناخية وتستمر عملية الترسيب فى دورة تكون الصخر. كما هو موضح فى الشكل (١٠/١).



شكل(١/١٠) مخطط لدورة الصخر

الخواص الطبيعية للصخر ذات الأهمية الخاصة فى تكنولوجيا البيئة تشمل تلك المتعلقة لتخزين وتدفق المياه تحت الأرض. المصطلحات الهامة فى هذا المجال هى المسامية (Porosity)،النفاذية (Permeability). الصخر ليس تام الصلابة. المسامية تشير إلى النسبة المئوية للحجم الكلى للصخر الذى تشغله المسام والفراغات. النفاذية تشير إلى خواص الصخرة التى تمكن الماء من السريان خلال الفراغات والمسام. وهذا يسمى نسيج النفاذية (Matrix Permeability).لاحظ أن الصخور المسامية ليست بالضرورة عالية النفاذية، وخاصة إذا كانت الفراغات صغيرة جداً وليست متصلة فيما بينها.

الصخور الرسوبية عادة تكون مسامية وذات نفاذية نسبياً، بينما معظم الصخور النارية والتحويلية ليست ذات نفاذية. صخور الكربونات الرسوبية مثل الحجر الجيرى، هى مذابة نسبياً. فى هذا النوع من الصخور قد تتكون جيوب المحلول مع التدفق البطئ للماء خلال الفراغات وإذابة الحجر الجيرى. جيوب المحلول تزيد من نفاذية الصخر.

التكوينات الصخرية لها صفات معالم بنائية التى يمكن كذلك أن تؤثر على النفاذية. فمثلاً، الظاهرة التى تسمى الطبقية أو المؤلف من طبقات (Layring Or Stratification)، عادة تكون موجودة فى الصخور الرسوبية. يحدث هذا لأن حبيبات التربة الغير متماسكة ترسب كرواسب بواسطة الماء أو الرياح فى طبقات أفقية، هذه الطبقات يمكن أن تختلف فى حجم الحبيبات أو فى المكونات المعدنية. وبالتالى تكون النفاذية عموماً أعلا فى الاتجاه الموازى للطبقات فى الصخور الرسوبية.

الكتل الصخرية يمكن أن تنحنى أو تلتوى بالتدريج بسبب التغيرات المناخية وتحركات الأرض. عند تشقق وتفتت الصخر بفعل الإجهادات الزائدة، فإنه تتكون شقوق وانفلاقات وهذه تسمى تصدعات (Joints). والتصدعات حيث يتحرك جانب واحد من الكتلة الصخرية أو أن يزاح نسبياً إلى الجانب الآخر، كما يحدث أثناء الزلازل ويسمى الفوالق (Faults). فى حالة عدم التصاقها أو الاقتراب المحكم فإن كلاً من التصدعات والفوالق تعمل كممر مناسب لتدفق الماء ويضيف نفاذية الشقوق إلى كتلة الصخر. فى الصخور المذابة مثل الحجر الجيرى، يمكن للتصدعات أن تتضخم بفعل المحلول لتكوين الكهوف.

أنواع التربة : (Types of Soil)

التربة، شظايا وكسور الصخر الغير متماسكة التى تكونت من عوامل التعرية، يمكن تقسيمها على أساس الصفة المميزة (Texture) أو الحجم والشكل لحبيبات التربة. وتوجد أربع تقسيمات رئيسية لصفات التربة.

١- الزلط : وهى الكسور أو الشظايا الصخرية ذات قطر ما بين ٤,٧٥ إلى ٧٥ مليمتر.

٢- الرمل : حبيبات التربة أكبر من ٠,٠٧٥ مليمتر وأقل من ٤,٧٤ مليمتر فى القطر.

٣- الغرين أو الطمى (Silt) : حبيبات دقيقه مثل المسحوق بقطر أكبر من ٠,٠٠٢ مليمتر واصغر من ٠,٠٧٥ مليمتر.

٤- الطفلة : (Clay) : حبيبات صغيرة جداً أقل فى القطر من ٠,٠٠٢ مليمتر.

المصطلح لوم (Loam) يستخدم كذلك للتربة المتكونة من الغرين أو الطمى والرمل وكذلك يحتوى على بعض المواد العضوية والمناسبة لنمو النباتات والمحاصيل. الطفلة تختلف عن الزلط، الرمل، الطمى .ليس فقط فى الحجم والقطر ولكن كذلك فى الشكل والمكونات المعدنية. الزلط، الرمل، الطمى يتكون من أجسام حبيبية كبيرة نسبياً، الأجسام الطفلية صغيرة جدا وذات الشكل الصفائحى وذات شراهة قوية للماء.

نفاذية التربة تقل مع صغر حجم الحبيبات. الزلط والرمل لهما حبيبات تربة مسامية ولهما نفاذية عالية، تسمح سريعاً بتدفق المياه خلال الفراغات بين حبيبات التربة. يعتبر الغرين أقل نفاذية بسبب صغر حجم الحبيبات وحجم الفراغات. والطفلة رغم أنها مادة مسامية إلا أنها عديمة النفاذية بالنسبة لتدفق المياه. هذا أساساً لأن الماء فى الطفلة يرتبط بالقوى الجزيئية على حبيبات الطفلة التى هى فى شكل شرائح. عدم النفاذية لتربة الطفلة

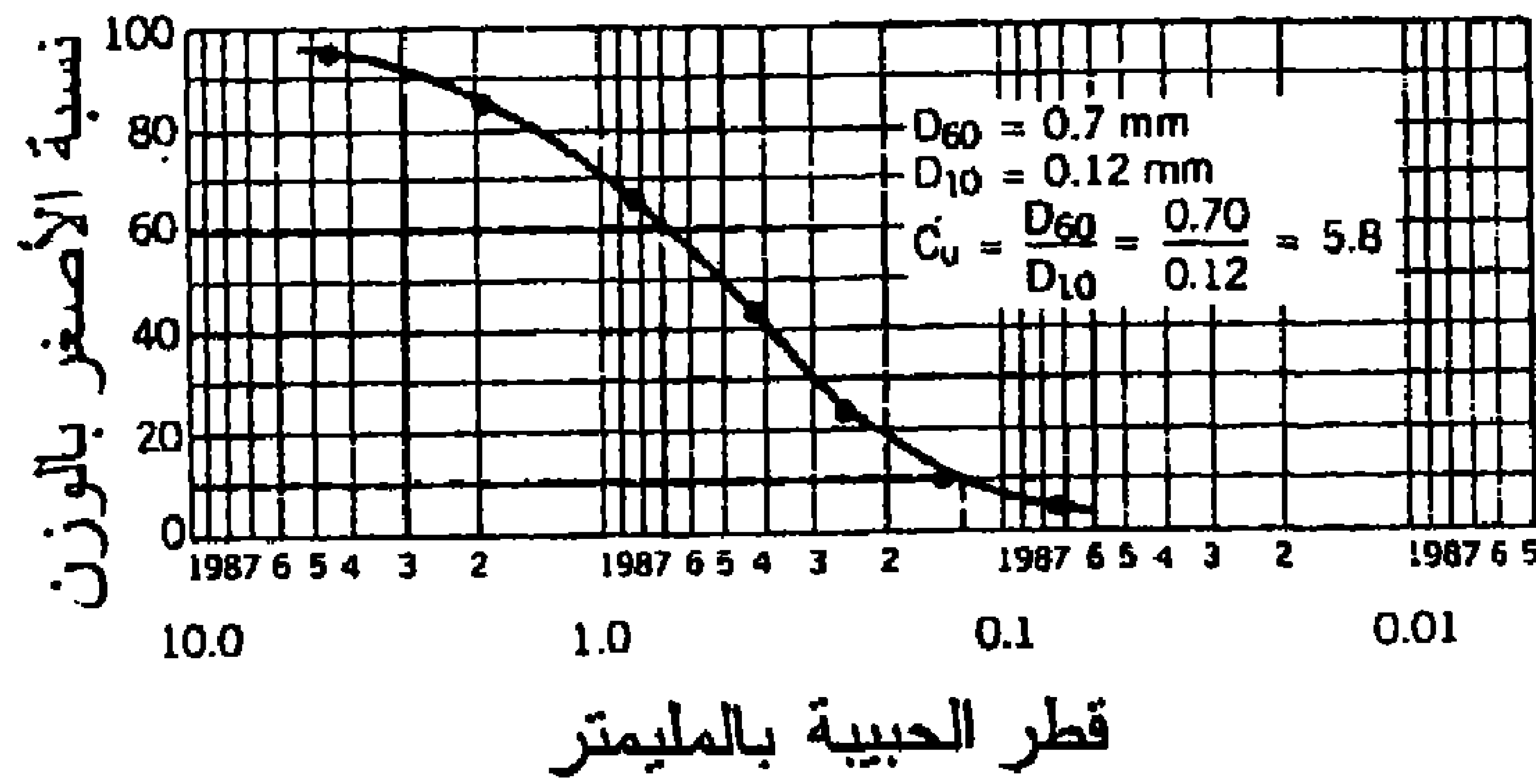
يمكن استخدامها للاستفادة بها فى بناء أماكن الردم الصحى للتخلص من المخلفات الصلبة، ولكن سلبياتها الكبيرة فى حالة التخلص تحت سطح التربة لمياه الصرف. والتى سيتم مناقشتها فى الفصول التالية. بالإضافة إلى المسامية والنفاذية فإن هناك مصطلحات أخرى متعلقة بتدفق المياه فى التربة وتشمل الترشيح للتربة (Infilteration) والتسرب إلى أسفل (Percolation). وترشيح التربة يعنى اختراق الماء خلال طبقات سطح الأرض من التربة أو الصخر. أما التسرب إلى أسفل فيعنى به استمرار حركة تدفق المياه خلال الفراغات المسامية تحت تأثير قوى الجاذبية.

عموما التربة المدمجة، التى تحتوى على نسبة عالية من الطمى والطفلة لها معدلات منخفضة للترشيح والتسرب إلى أسفل. ولكن التربة ذات الشكل الخشن والتى تحتوى فى معظمها على الرمل والزلط يكون لها معدلات عالية من الترشيح والتسرب إلى أسفل. التربة المدمجة غير مناسبة للصرف تحت السطحى لمياه الصرف (فى الموقع). اختيار التسرب السفلى بفعل الجاذبية عند تصميم نظام التحليل فى الموقع تمت مناقشته فى الجزء الثانى.

تدرج التربة : (Soil Graduation)

رغم أن التربة يمكن تقسيمها طبقا لحجم الحبيبات مثل الزلط، الرمل، الغرين، (الطمى)، الطفلة، فإن التربة الطبيعية الموجودة لا توجد عادة فى هذا التقسيم المحدد. تلك الأنواع من التربة عادة تكون مخلوطة، محتوية على العديد من المقاسات المختلفة لحبيبات التربة. التوزيع والنسب المئوية لمختلف حجم الحبيبات للتربة يسمى تدرج التربة.

يمكن بسهولة تعيين تدرج التربة ميكانيكيا وذلك بفصل حبيبات التربة المختلفة فى مناخل أو مصافى ذات أبعاد مختلفة لقطر الفتحات (Mesh openings). نتيجة التحليل الميكانيكى يعبر عنه عادة فى شكل مخطط يمثله منحنى التدريج. نموذج المنحنى موضح فى الشكل (١/١١)، حيث المحور الرأسى يبين النسبة المئوية لحبيبات التربة التى هى أقل من الحجم النوعى للحبيبة. هذا المنحنى يبين أن ٦٠% من التربة هو أقل من ٠,٧ مليمتر فى القطر، ١٠% من التربة أقل من ٠,١٢ مليمتر.



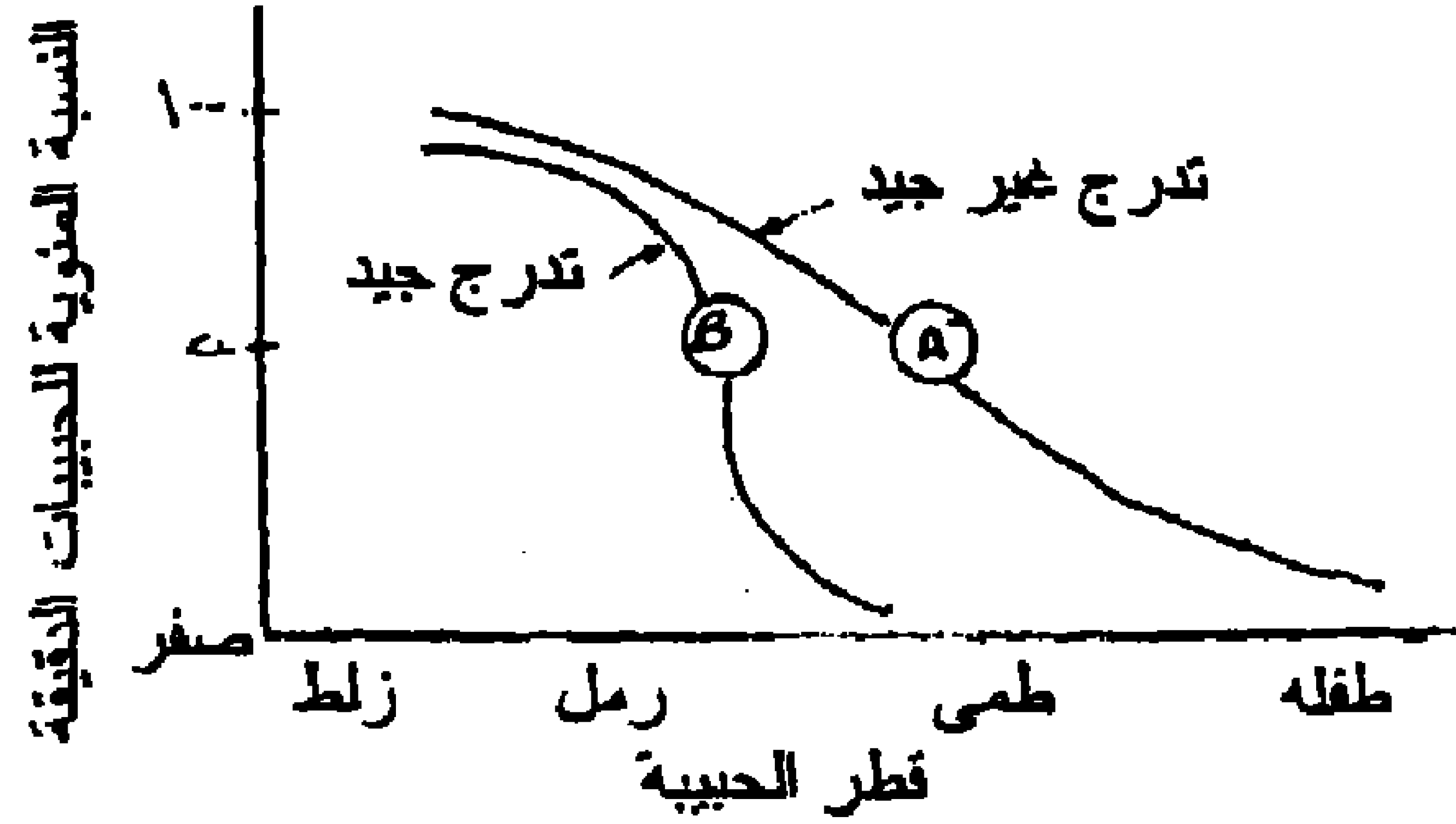
شكل (١/١١) مخطط التدرج للتربة.

معامل التجانس (Cu) يمكن استخدامه لتصنيف التربة

حجم (قطر) الحبيبة للتربة حيث ١٠% أصغر يسمى الحجم (القطر) المؤثر للتربة ذلك لأنه توجد علاقة وترابط بين القطر (الحجم) ونفاذية التربة (Effective Size). القطر المؤثر يرمز له بالرمز (D١٠) يستخدم كعامل عند توصيف الرمل للمرشحات المستخدمة فى نظم معالجة المياه أو مياه الصرف. معامل تدرج آخر يسمى معامل التجانس (Uniformity Coefficient) يستخدم كذلك فى هذا المجال. معامل التجانس هو النسبة لحجمين من الحبيبات، وهما حيث ٦٠% الأصغر (حيث رقم فتحة المنخل بالمليمتر التى تمر ٦٠% من العينة وتحجز ٤٠% من العينة) والقطر المؤثر أو (D٦٠ ÷ D١٠). منحنى التدرج للتربة الموضح فى الشكل (١/١١) له قطر مؤثر ٠,١٢ مليمتر ومعامل تجانس ٠,٧ مليمتر ÷ ١٢ مليمتر = ٥,٨.

والتربة المختلطة يمكن وصفها بأنها ذات تدرج جيد أو ذات تدرج ضعيف، وذلك طبقاً لتوزيع أحجام الحبيبات. التدرج الجيد موضح المنحنى (A) فى الشكل (١/١٢). يوجد تغير كبير فى حجم الحبيبات فى هذا النوع من التربة، الحبيبات الأصغر تتطابق مع وتملأ معظم الفراغات بين الحبيبات الأكبر. نتيجة لذلك، فإن التربة ذات التدرج الجيد تميل إلى أن يكون لها مسامية ونفاذية ضعيفة نسبياً. وهى كذلك مقاومة للبرى والفرك والصقل والتنظيف. منحنى التدرج (B) هو نموذج للتربة ذات التدرج الضعيف، والتى تتكون أساساً من حبيبات التربة فى مجال ضيق جداً من الأحجام. وفى التربة من هذا النوع، تكون كلاً من النفاذية والمسامية مرتفعة نسبياً ذلك لأنه لا توجد أحجام صغيرة

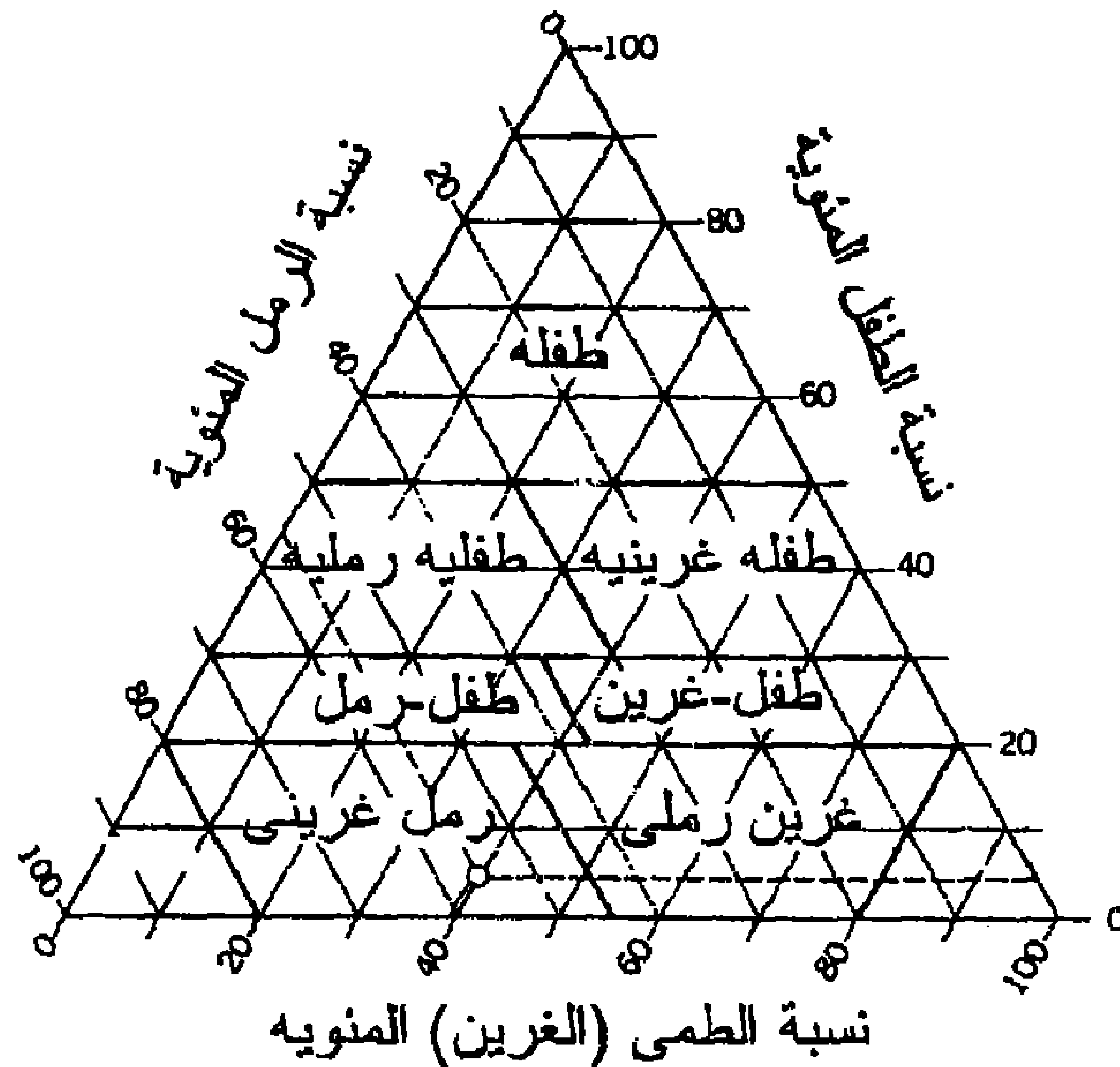
كافية لتملأ الفراغات والمسام بين الحبيبات الأكبر. التربة ذات التدرج الضعيف تكون عموما لها معامل تجانس أقل من ١٠%.



شكل (١/١٢) التربة ذات التدرج الجيد (A)

لها نفاذية ومسامية أقل من التربة ذات التدرج الضعيف (B)

التربة المختلطة تقسم عادة أو تصنف بالشكل الذى يساعد فى تقدير سلوكها وخواصها. تستخدم نظم عديدة للتقسيم فى تكنولوجيا ميكانيكا التربة، ومعظمها مبنى على تحليل المنخل وبعض الاختبارات المعملية الأخرى. أحد أبسط الطرق لتقسيم التربة هو باستخدام مخطط التقسيم المثلثى كما هو موضح فى الشكل (١/١٣).



شكل (١/١٣) المخطط المثلثى لتصنيف التربة

مخطط التقسيم المثلثى يعتمد فقط على الكميات النسبية من الرمل، والطمى والطفله فى التربة. فمثلاً، التربة التى تحتوى على ٢٥% من الطفلة يمكن وصفها بأنها طفلية - طينية على المخطط. عموماً عندما تزيد نسبة الطفلة عن ٢٠% من إجمالى عينة التربة، فإن الطفلة هى التى تهيمن على خواص التربة وسلوكها، وأن التصنيف الأولى أو التعرف على التربة سيكون هو الطفلة. مخطط التقسيم الأكثر استخداماً مقارنة بالمخطط المثلثى يسمى النظام المتحد (Unified system) يستخدم بيانات إضافية من الاختبارات المعملية لتقسيم التربة.

الخرائط المساحية لفحص ودراسة التربة : (Soil Survey Maps)

مجموعة التربة ذات الصلة ببعضها والتى تم تنميتها من مكونات صخرية متشابهة تسمى التربة المتسلسلة أو المتتالية (Soil Series). والتربة خلال تسرب معين تكون أساساً متشابهة فى جميع الخواص الأساسية. وهى تصنف على أساس تقسيمها البنائى (Textural) واسم المكان الجغرافى الذى يمثل تحديداً نوع التربة. وقد قام جهاز خدمة المحافظة على الموارد الطبيعية التابع لوزارة الزراعة الأمريكية بالدراسة المساحية للمساحات المحلية وإعداد الخرائط المساحية لدراسة التربة.

والخرائط المساحية للتربة هى خرائط تراكبية للصور الجوية للمساحة بالإضافة إلى توزيع تسلسل التربة، فإنها تظهر الطرق، والمجارى السطحية والظواهر الطبيعية الأخرى، وهى مفيدة تحديداً للمساعدة فى حسن تخطيط واستخدام وتنمية الأراضى.

توجد مجموعات من الحروف ترمز إلى تسلسل التربة.

ميل الأرض له أهمية خاصة فى التخطيط البيئى وتنمية الأراضى. الميول التى يعبر عنها بنسبة مئوية تمثل التغير فى ارتفاع الأرض كل ١٠٠ متر أو ١٠٠ قدم من المسافة الأفقية. فمثلاً، مرتفع يميل ٢٠% يتغير ٢٠ متر فى الارتفاع عند مسافة ١٠٠ متر.

الميول أقل من ٥% عادة تعتبر ميول لطيفة، بينما تلك الميول أكبر من ١٥% تعتبر ميول حادة. الميول الحادة تعتبر أكثر عرضة وحساسية للمعدلات العالية من تدفقات السيول وبرى التربة مقارنة بالميول اللطيفة. على الجانب الآخر، المساحات ذات الطبوغرافية المستوية جداً (حيث الميل من صفر إلى ٢%) يمكن أن تقاسى من ضعف الصرف لمياه السيول والأمطار ومشاكل الفيضانات. النظم الحديثة للاستخدام العمرانى للأراضى قد تحدد حدود بناء المنازل والإنشاءات الأخرى المسموح بها على الميول الحادة، مع إعداد التصميم الهيدروليكى لنظام صرف مياه السيول والأمطار لأهميته

بالنسبة للمساحات المستوية جداً. التقارير لوصف نظم خدمة المحافظة على الموارد الطبيعية للدراسة المساحية للتربة تحتوى على معلومات جيدة بالنسبة لخواص التربة وسلوكها. تتوفر بيانات عن العمق حتى الطبقة الصخرية وكذلك البيانات للعمق حتى خط المياه الجوفية. الطبقة الصخرية هى التكوينات الصخرية التى لم تتعرض لعوامل التعرية وتقع تحت سطح التربة. خط المياه يمثل العمق الذى عنده تكون التربة مشبعة بالماء، كما سيتم مناقشته فى الفصل (٣). العمق حتى الطبقة الصخرية وخط المياه الجوفية يعتبر هام بالنسبة لتصميم منشآت التخلص من المخلفات الصلبة أو السائلة. بيانات أخرى تظهر فى بيان خدمة حماية الموارد الطبيعية تشمل مؤشر خواص التربة، التدرج، النفاذية، احتمالات برى التربة، وملاءمة الأرض لمختلف أنواع التنمية. فمثلاً بيانات الخريطة التى تحدد الارتفاع الموسمى لخط المياه الجوفية، تحدد بشدة استخدام الأرض فى الردم الصحى أو خزانات التحليل حيث يتم امتصاص التربة للسوائل.

تاريخ الإدراك البيئى : An Era of Environmental Awareness

فى عام ١٩٦٠ حدث إدراك شديد لمشاكل التلوث البيئى بين المجتمعات السكانية. حيث تأكد كثير من البشر بقيمة وأهمية المحافظة وحماية نوعية البيئة. فقد كان الهواء النظيف والماء النظيف الذى حاز الاهتمام هو الدافع إلى عقد مؤتمرات عامة لهذا الغرض. كان المطلب هو مجارى مائية وبحيرات يمكن استخدامها فى السباحة وصيد الأسماك وكذلك لمصادر إمدادات مياه الشرب.

لقد أصبحت كلمات النظام الإحيائي (Ecosystem) والمجال الحيوى (Biosphere) من الكلمات المنتشرة بين الناس، وكذلك أصبحت المقالات فى الصحف عن مشاكل التلوث المحلى من الأمور العادية. كما تم تركيز البرامج التعليمية عن شئون البيئة لتلاميذ المدارس حتى مستوى الجامعة كما أنها نمت فى أوساط المجتمع وأصبحت مدركة لدى العامة.

فبالإضافة إلى منع تلوث الهواء والماء، فإنه من المنظور البيئى الحديث أصبح من المهم حل المشاكل المتعلقة بالتخلص من المخلفات، الإشعاعات، الصوت، المبيدات، وحماية الكائنات البرية. رغم أن الأمراض المعدية مثل الكوليرا والتيفود قد اختفت، إلا أنه بدأ الحذر من أنواع أخرى من المشاكل التى يسببها الإنسان. وتعرض المجال البيئى للمواد الكيماوية الصناعية السامة.

ولقد لجأت الحكومات إلى إصدار القوانين والقرارات المنظمة للمحافظة على البيئة بهدف المحافظة على صحة الإنسان وسعادته.

الفصل الثانى
تلوث الماء (Water Pollution)

الماء له الاستعداد القوى لإذابة المواد الأخرى حيث يشار إليه أحياناً بأنه المذيب العالمى. والماء النقى أى (H_2O) غير موجود فى المجارى السطحية والبحيرات والمياه الجوفية أو البحار والمحيطات فى الظروف العادية. فالماء دائماً يكون به شئ ما مذاباً أو عالقاً به. لهذا فإنه لا يوجد خط واضح بين الماء الملوث والماء النظيف.

إذا كان الماء النظيف غير موجود خارج المعمل الكيماوى، كيف يمكن عمل التفرقة بين الماء الملوث والغير ملوث؟ فى الحقيقة هذه التفرقة تعتمد على نوع وتركيز الملوثات وكذلك على الاستخدام المستقبلى للمياه. بالإضافة إلى أن تركيزات المواد المذابة أو العالقة يمكن مقارنتها بالمعايير القياسية للمياه لاستخدام معين.

عموماً، يمكن اعتبار الماء أنه ملوث عندما يحتوى على مواد غريبة كافية لتجعله غير مناسب لاستخدام معين، مثل الشرب، الاستجمام، تنمية الاسماك. حقيقة تعبير التلوث عادة يرجع إلى أن الأنشطة الإنسانية هى سبب ضعف نوعية المياه.

وسيتم تناول أنواع ومصادر ملوثات المياه العادية وتأثيرها على المجارى المائية، البحيرات، الأنهار، المياه الجوفية، ومياه البحار والمحيطات.

١ – تقسيم ملوثات المياه :

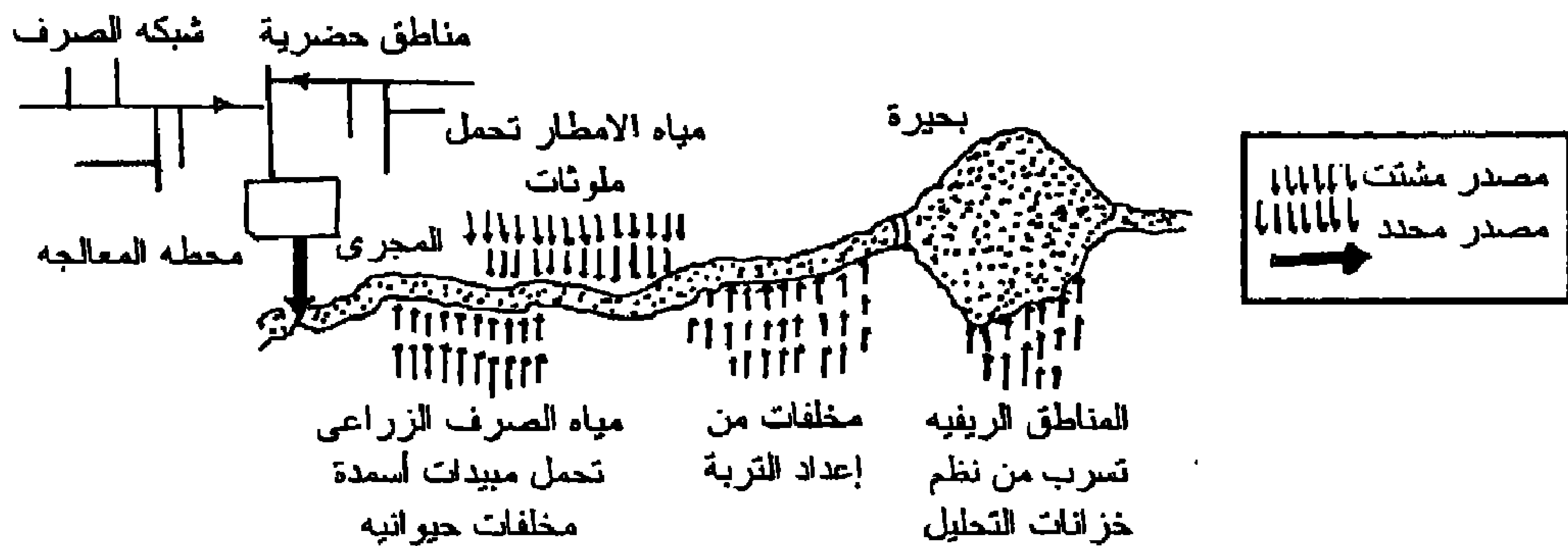
لتفهم تأثيرات تلوث المياه والتكنولوجيا المطبقة فى الحد من التلوث، يكون من المفيد تقسيم الملوثات إلى عدد من المجموعات أو الأصناف. أولاً، يمكن تقسيم الملوث طبقاً لاسم مصدره إما من مصدر محدد أو أن يكون من مصادر غير محددة ومنتشره. الملوث من مصدر محدد هو ذلك الذى يصل إلى الماء من ماسورة، قناة، أو أى مصدر آخر محدود ومحلى. المثال العادى للمصدر المحدد للملوثات هو ماسورة الصرف لمخلفات المجارى فى المسطحات المائية أو الأنهار، وإن كان معظم مياه المجارى يكون قد تم معالجتها فى محطات معالجة الصرف الصحى إلا أنها لازالت تحتوى على الملوثات إلى حد ما.

المصدر المنتشر والغير منتشر هو مساحة واسعة غير محددة حيث تدخل منها الملوثات فى كتلة الماء. الصرف السطحى من المساحات الزراعية والذى يحمل مواد التربة، الأسمدة، المبيدات والمخلفات الحيوانية نحو المجارى المائية السطحية وليس عند

نقطة معينة يعتبر مثالاً للمصدر المنتشر. تلك المواد يمكن أن تدخل المياه علـى طـول المجرى المائى مع تدفقها خلال المنطقة. الأمطار الحامضية من مناطق إستخراج الخامات المعدنية هى ملوثات منتشرة. نظم صرف مياه الأمطار فى المدن تعتبر كذلك كمـصادر مشتتة لكثير من الملوثات، ذلك رغم أن الملوثات يتم حملها عادة نحو المجارى المائية أو البحيرات فى مواسير صرف أو شبكة صرف مياه الأمطار، إلا أن كثيراً من هذا الصرف ينتشر على مساحة كبيرة.

الفرق بين المصادر المحددة والمصادر المشتتة للملوثات موضح فى الشكل (٢/١). مصدر الملوثات المحدد يكون من السهل التعامل معه أكثر من المصدر المشتت للملوثات. الملوثات من المصدر المحدد هى التى تم جمعها ونقلها إلى مكان معين حيث يمكن إزالتها من المياه فى محطة المعالجة، وحيث يمكن صرفها من محطات المعالجة طبقاً للمعـايير المقررة على الصرف على المسطحات المائية.

الملوثات من المصادر المنتشرة والمشتتة التحكم فيها أكثر صعوبة. رغـم أن ميـاه الصرف تعتبر المصدر الكبير لمشاكل تلوث المياه، ولكن المصادر المشتتة تسبب قـدراً كبيراً من تلوث المياه. والطريقة الفعالة للتحكم فى المصادر المشتتة هى بإقامة العوائـق المناسبة على الأرض.



شكل (٢/١) ملوثات المصادر المشتتة المختلفة التى يصعب التحكم فيها مقارنة بملوثات المصدر المحدد حيث يمكن إزالتها من الماء.

بالإضافة إلى التقسيم طبقاً للمصدر، فإنه يمكن تقسيم ملوثات المياه إلى مجموعـات من المواد أساساً طبقاً لتأثيراتها الصحية والبيئية.

فمثلاً، البيان الآتى يوضح تسعة أنواع محددة من الملوثات:

١- الكائنات الحية الدقيقة الممرضة.

٢- المواد التى تحتاج وتستهلك الأكسجين.

٣- المواد الغذائية للنبات.

٤- المواد العضوية السامة.

٥- الكيماويات الغير عضوية.

٦- الرواسب.

٧- المواد المشعة.

٨- الحرارة.

٩- الزيوت.

الصرف الصحى المنزلى هو المصدر الرئيسى للأنواع الثلاثة الأولى من الملوثات . الكائنات الممرضة (Pathogens)، أو الكائنات الحية الدقيقة المسببة للأمراض، يتم إفرازها فى غائط الأشخاص حاملى العدوى والتى يمكن أن تنقل إلى الماء الذى يستقبل صرف مياه الصرف الصحى. مخلفات الصرف الصحى من التجمعات السكانية الكثيفة يوجد احتمال كبير نحو احتوائها على كائنات ممرضة من نوع ما.

والصرف الصحى كذلك يحمل المواد ذات الحاجة إلى الأكسجين أى التى تستهلك الأكسجين – المخلفات العضوية التى تسبب الأكسجين البيولوجى المطلوب (BOD) عند تحللها بواسطة الكائنات الصغيرة. هذا الأكسجين الحيوى المطلوب هو الذى يغير الاتزان البيئى فى المياه وذلك يخفض المحتوى من الأكسجين المذاب. النيتروجين والفوسفور، هى من أهم مواد الغذاء للنبات فى مياه الصرف وكذلك فى الصرف من الحقول، إلا أن هذه المواد وإن كانت غذاء للكائنات النباتية فى المجارى المائية إلا أنها سامة للكائنات الحيوانية المائية (الأسماك). المعالجة التقليدية للصرف الصحى تقلل من كمية الكائنات الممرضة وكذلك الأكسجين الحيوى المطلوب فى مياه الصرف ولكن لا يتم التخلص نهائيا منهم. فيروسات معينة بالتحديد، يمكن أن تكون ذات مقاومة لعمليات تطهير مياه الصرف. (الفيروس هو كائن حى دقيق حامل للمرض يمكن رؤيته فقط بالمجهر الإليكترونى).

لخفض كميات النيتروجين والفوسفور من مياه الصرف، عادة يتم استخدام بعض أنواع المعالجات الخاصة لمياه الصرف والتى تسمى بالمعالجة الثلاثية.

الكيماويات العضوية السامة، يمكن كذلك أن تذهب مباشرة إلى الماء من الأنشطة الصناعية، إما لعدم التداول الصحيح للكيماويات فى المصنع، أو كما هو ملاحظ من الصرف للمخلفات الصناعية قبل معالجتها. إدارة عمليات التخلص من الكيماويات السامة والمخلفات الخطرة الأخرى له تأثير هام على البيئة، وخاصة بالنسبة لحماية نوعية المياه الجوفية. الكيماويات الغير عضوية السامة وخاصة تلك التى من المعادن الثقيلة مثل الرصاص، الزئبق، والكروم يكون مصدرها الأنشطة الصناعية وتعتبر مخلفات خطرة.

الزيوت يمكن أحياناً غسيلها نحو المياه السطحية فى مياه غسيل الشوارع وانتظار السيارات. والمياه الجوفية يمكن أن تتلوث كذلك بفعل التسرب من الخزانات تحت سطح الأرض. كما يحدث أحياناً الانسكاب للزيوت الغير متعمد من ناقلات الزيت الضخمة فى مياه البحر بما يسبب خطر بيئى كبير. الصرف العشوائى لآبار الزيت فى مياه البحر يمكن أن يطلق مئات الأطنان من الزيت فى وقت قصير. إنسكابات الزيت فى البحر قد تتحرك نحو الشاطئ بما يؤثر على الكائنات الحية ويفسد مناطق الاستجمام.

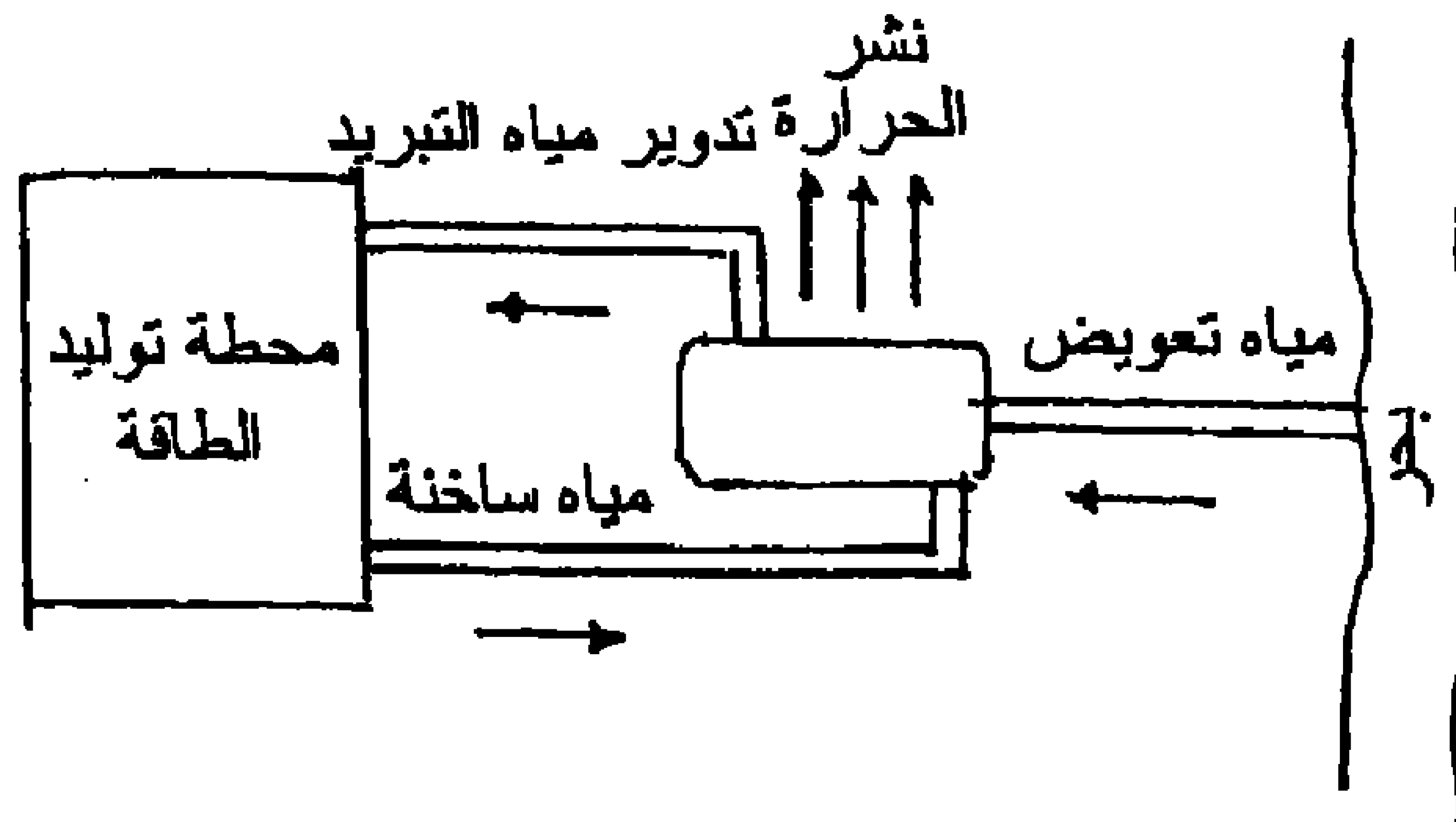
٢- التلوث الحرارى : (Thermal Pollution)

تعتبر الحرارة من ملوثات الماء نظراً للتأثير السئ الذى تحدثه على مستوى تركيز الأكسجين والكائنات المائية فى الأنهار والبحيرات. عموماً، الكمية الكلية للمياه التى يتم سحبها لأغراض التبريد فى محطات الطاقة تزيد عن كمية المياه المستخدمة فى أى غرض آخر. مياه التبريد تحمل الحرارة عند مرورها خلال المكثفات فى محطة الطاقة (بتحول البخار إلى الماء فى المكثفات). درجة حرارة الماء المستخدم فى التبريد يمكن أن تزداد بحوالى ١٥°م بعد قيامها بتكثيف البخار.

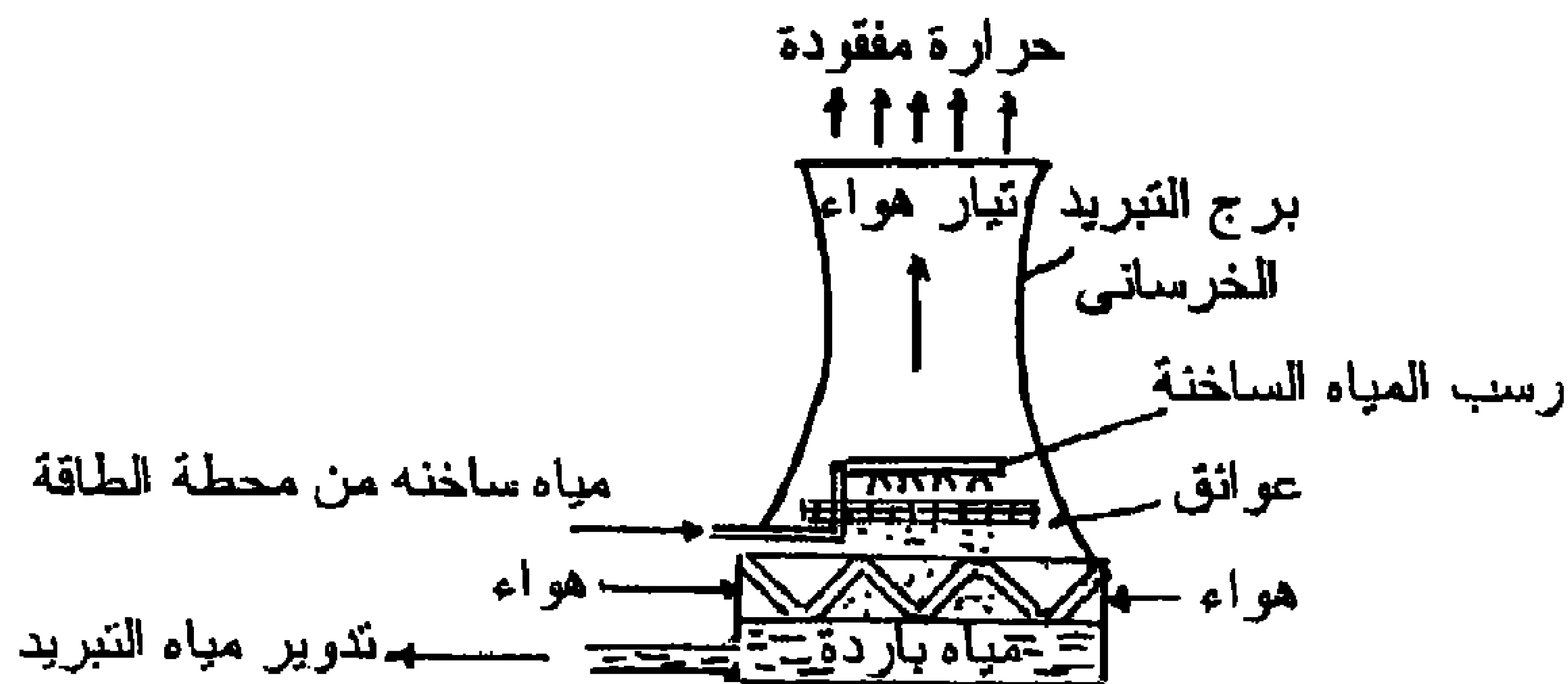
صرف المياه الساخنة فى النهر عادة يسمى تلوث حرارى. ارتفاع درجة الحرارة يقلل من إذابة الأكسجين ويزيد من معدل الأيض (وبناء بروتوبلازم الخلايا) (Metabolism) للأسماك. وهذا يسبب التغير فى الاتزان الاحيائى بين الكائنات الحية وبيئتها (Ecology) فى النهر. بعض الأسماك مثل سمك السلمون لا يستطيع العيش عند درجة حرارة أعلا من ٢٥°م. الأسماك الكبيرة مثل الشبوط والسمك النهرى ذو الرأس الطويل المستدق (Pike) يمكن أن تكون حياتها المعيشية أفضل عند درجة حرارة دافئة حتى ٣٥°م.

نظرا لأن أصناف مختلفة من الأسماك الكبيرة تفضل المياه الدافئة، فإن بعض ممثلى صناع الطاقة يستخدموا تعبير الوفرة الحرارية (Thermal Enrichment) بدلاً مــن التلــوث الحــرارى للإشارة إلى ما يسببه الدفء فى النهر. رغم حقيقة أن كثيرا من الأسماك قد تحتشد قرب ماسورة الصرف لمياه التبريد من محطة الطاقة، إلا أنه تظهر مشكلة عند التوقف المفاجئ للمحطة بسبب الإصلاح. الانخفاض المفاجئ فى درجة حرارة الماء يسبب القتل للأسماك بنسب كبيرة، حيــث آلاف الأسماك الميتة تطفو على سطح النهر أو يتم كسحها نحو الشاطئ.

ويمكن التحكم فى التلوث الحرارى وذلك بتمرير المياه الساخنة خلال برج تبريد أو بركــة تبريد بعد خروجها من المكثف. الحرارة يتم نشرها فى الهواء والماء عندئذ يمكن إما صرفه فى النهر أو إعادته بالضخ إلى المحطة لإعادة استخدامه كمياه تبريد. وهذا موضح فى الشكل (٢/٢) لا يوجد صرف للمياه الساخنة فى النهر، ولكن يتم سحب بعض المياه لتعويض الفقد بالبخر.



شكل (٢/٢) التلوث الحرارى من محطة توليد الطاقة يمكن التخلص منه باستخدام التدوير لبرك التبريد أو أبراج التبريد

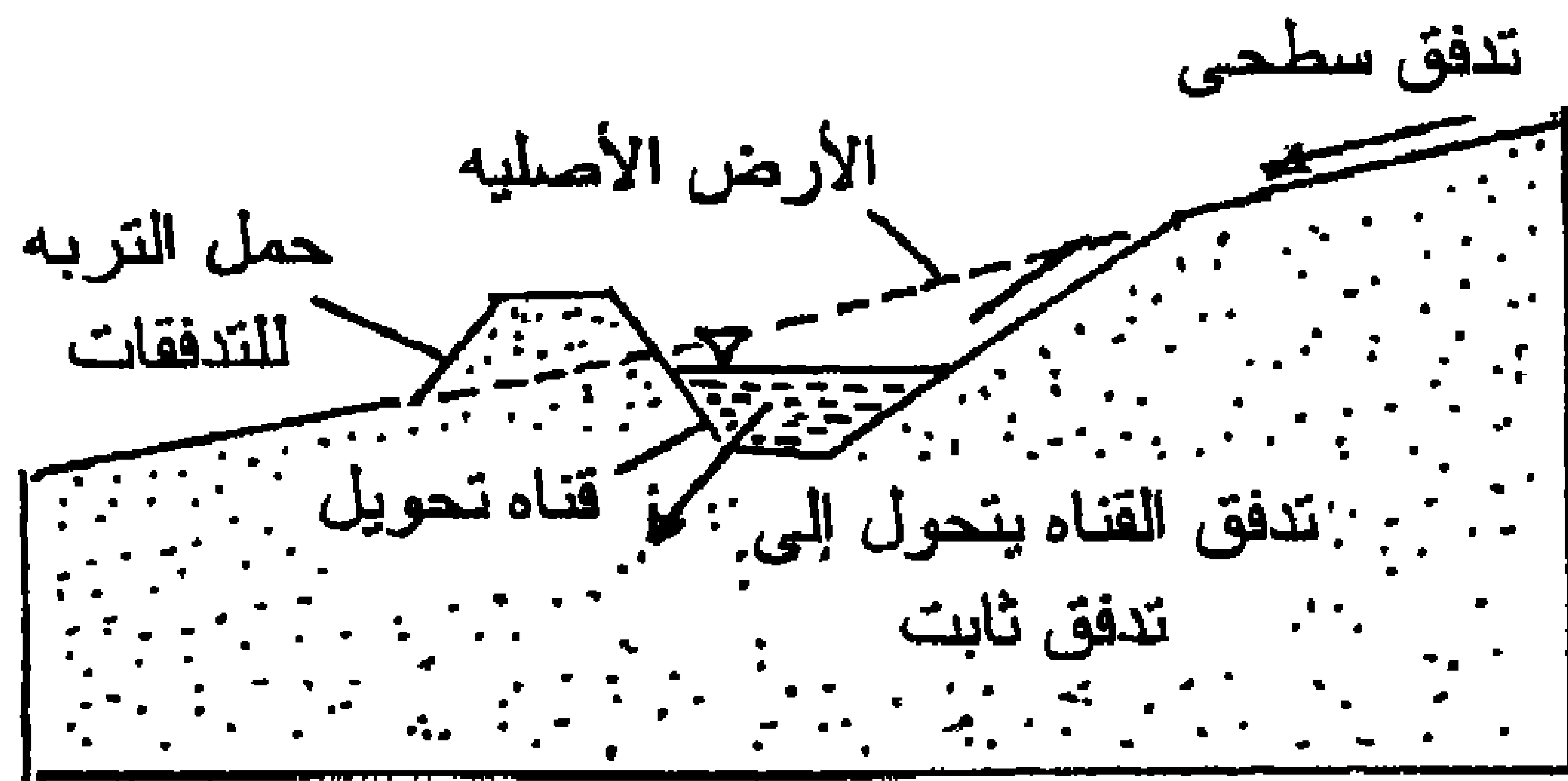


شكل (٢/٣) برج التبريد بتيار الهواء الطبيعى الحرارة تفقد فى الجو.

قطر البرج ١٠٠ متر وارتفاعه حوالى ١٣٠ م

فى الأماكن حيث لا توجد مساحات كافية لبركة التبريد، فإنه يمكن إنشاء أبراج التبريد لمنع حدوث التلوث الحرارى. هذه الإنشاءات تستخدم مساحاتٍ أقل مقارنة بالبرك. النوع العادى هو برج التبريد ذو المقطع الزائد (Natural Draft Hyperbolic Cooling Tower)، حيث يكون فيه التبخر بسبب معظم الانتقال الحرارى. أبراج التبريد ذات المقطع الزائد عادة تكون مرتفعة جداً.

عمل برج التبريد بالتبخير هو أساس عملية بسيطة، موضحة فى الشكل (٢/٣). المياه الدافئة القادمة من المكثف يتم رشها إلى أسفل فوق عوائق أو ألواح رأسية، التى تسمى الملئ. تتدفق المياه فى طبقات رقيقة خلال الملئ. الهواء البارد يدخل البرج خلال مدخل الهواء الذى يحيط بقاعدة البرج ويرتفع إلى أعلا خلال الملئ. يحدث التبريد بالتبخير عند مرور الهواء البارد فوق الطبقات الرقيقة للماء الدافئ. يستمر تأثير المدخنة أو السحب الطبيعى بسبب اختلاف الكثافة بين الهواء البارد فى الخارج والهواء الدافئ داخل البرج. تنتشر الحرارة فى الجو لارتفاع حوالى ١٠٠ متر فوق قاعدة برج التبريد. المياه التى تم تبريدها يتم تجميعها فى حوض عند قاع البرج وتدويرها ثانياً إلى مكثفات محطة الطاقة.



شكل (٢/٤) قنوات التحويل تقلل من مسافة التدفق فوق السطحى، وبذا تقلل من برى التربة وترسيب المجارى المائية والبحيرات القريبة.

٣- الحد من تعرية التربة والترسيب : Soil Erosion and Sediment Control

التحرك الطبيعى لحبيبات التربة بواسطة الرياح أو الماء من مكان إلى آخر يسمى برى أو تآكل او تعرية التربة. البرى وتآكل التربة يعتبر من المشاكل البيئية الحادة. التربة فى المناطق الزراعية تعتبر مورد طبيعى ثمين، والفقد لهذه التربة الخصبة بفعل الاستخدام الغير عقلانى للأرض يمكن أن يسبب تدمير وخراب. كما أن تعرية التربة تعتبر من بين المصادر الرئيسية لملوثات المياه.

جسيمات التربة العالقة في الماء تعيق اختراق ضوء الشمس. وهذا بالتالي يقلل من نشاط التمثيل الضوئى للنباتات المائية والطحالب، بما يسبب إرباك الاتزان الإحيائى فى المجارى المائية. وعند انخفاض سرعة الماء فإن الأجسام العالقة ترسب فى قاع المجرى أو البحيرة. خمود الرواسب فى القاع يحدث اضطراب فى دورة التكاثر للأسماك والكائنات المائية الأخرى.

يوجد نوعين من أسباب برى التربة بفعل الماء، وهما البرى أو التعرية السطحية (Sheet Erosion) من المساحات الأرضية نتيجة سقوط الأمطار والتدفق فوق سطح الأرض للعواصف الممطرة، التعرية أو البرى للمجرى المائى أو إزالة التربة من قاع المجرى وأجناب المجرى نتيجة الحركة السريعة للمياه فى المجرى المائى.

العوامل ذات التأثير على البرى السطحى تشمل غزارة سقوط الأمطار، مكونات التربة وتراكيبها، انحدار الميل، كمية التغطية النباتية. سرعة تدفق المجرى هى من أهم العوامل الهامة فى نحر المجرى، ذلك رغم أن نوع التربة يعتبر هام كذلك. كمية المادة المحمولة بواسطة مجموع المجارى المائية الكبيرة يمكن أن تكون كبيرة جداً. كمثال فإن نهر الميسيسبى يحمل حوالى ١,٥ مليون طن فى اليوم من الرواسب إلى المحيط. معظم هذه المواد تحمل كأحمال عالقة فى التيارات المضطربة، ولكن جزءاً كبيراً يحمل كذلك كأحمال قاعية منزلقة على طول قاع المجرى.

الغطاء الطبيعى من النباتات والحشائش والأشجار يوفر الحماية ضد التآكل والبرى السطحى. الأنشطة المختلفة لاستعمالات الأراضى مثل الزراعة والإنشاءات، والتى تزيل النباتات الطبيعية (فى حالة وجودها أصلاً) مؤقتاً وتعرض التربة العارية هى من أهم أسباب البرى الحاد ومشاكل الترسيب. مشروعات الإنشاء التى تشمل اضطرابات فى التربة يمكن أن تكون من أهم هذين العاملين. البرى العشوائى للتربة فى معظم مواقع الإنشاء يمكن أن يزيد عن البرى فى المناطق ذات النباتات الطبيعية بنفس الحجم بمعامل يزيد عن ١٠٠ ضعف.

خطط ومواصفات الإنشاء يجب أن تصف مكان وتفاصيل الإجراءات التفصيلية للحد من البرى للتربة وثباتها ومنع حدوث تلوث للمياه. فى بعض الأحيان يكون من المهم عمل خطة البرى للتربة والحد من الترسيب مصاحبة لوثائق مقاولة الإنشاءات. الطرق المحددة المستخدمة تتوقف أساسا على أنواع التربة وميل موقع الإنشاء.

إجراءات الحد من برى التربة تشمل الآتى :

١- يمكن استخدام الغطاء المؤقت من الحشائش لخفض البرى بفعل الرياح والماء لحين تنفيذ الخطة الدائمة لإنبات البذور أو تثبيت التربة. يتم استخدام الجير والتسميد على أساس بيانات اختبارات التربة، وكذلك تنفيذ الخلط الجيد للبذور.

٢- يمكن استخدام مواد المهاد (Mulching Materials) (وهى طبقة من النشارة التى تفرش على الأرض لوقاية جذور النبات من الحرارة أو البرد)، وكذلك يمكن استخدام القش الغير نتن وذلك للتغطية المؤقتة للمساحات التى يصعب زراعتها بالنباتات بسبب الميل الحاد، عدم ثبات التربة أو أعمال الأنشاء.

٣- يمكن إنشاء قنوات التحويل عمودية على الميول لخفض طول الميل المفتوح، كما هو موضح فى الشكل (٢/٤). هذه القنوات يتم إنشائها بجسر على الجانب السفلى للميل، حتى تعمل على تحويل المياه إلى الأماكن حيث يمكن التخلص منها بأمان.

٤- يمكن وضع بالات القش حول مواقع مياه العواصف الممطرة أو عند النقطة المنخفضة فى الموقع لتتقاطع مع التدفقات الحاملة للرواسب ومنع دخول المياه إلى نظام الصرف كما فى الشكل (٢/٥).

٥- الأسوار المؤقتة كما في الشكل (٢/٦) يمكن استخدامها لخفض البرى فى مواقع الإنشاء. وهى توضع عادة على حدود الموقع الخارجى على أدنى ارتفاع حيث تدفقات المياه.

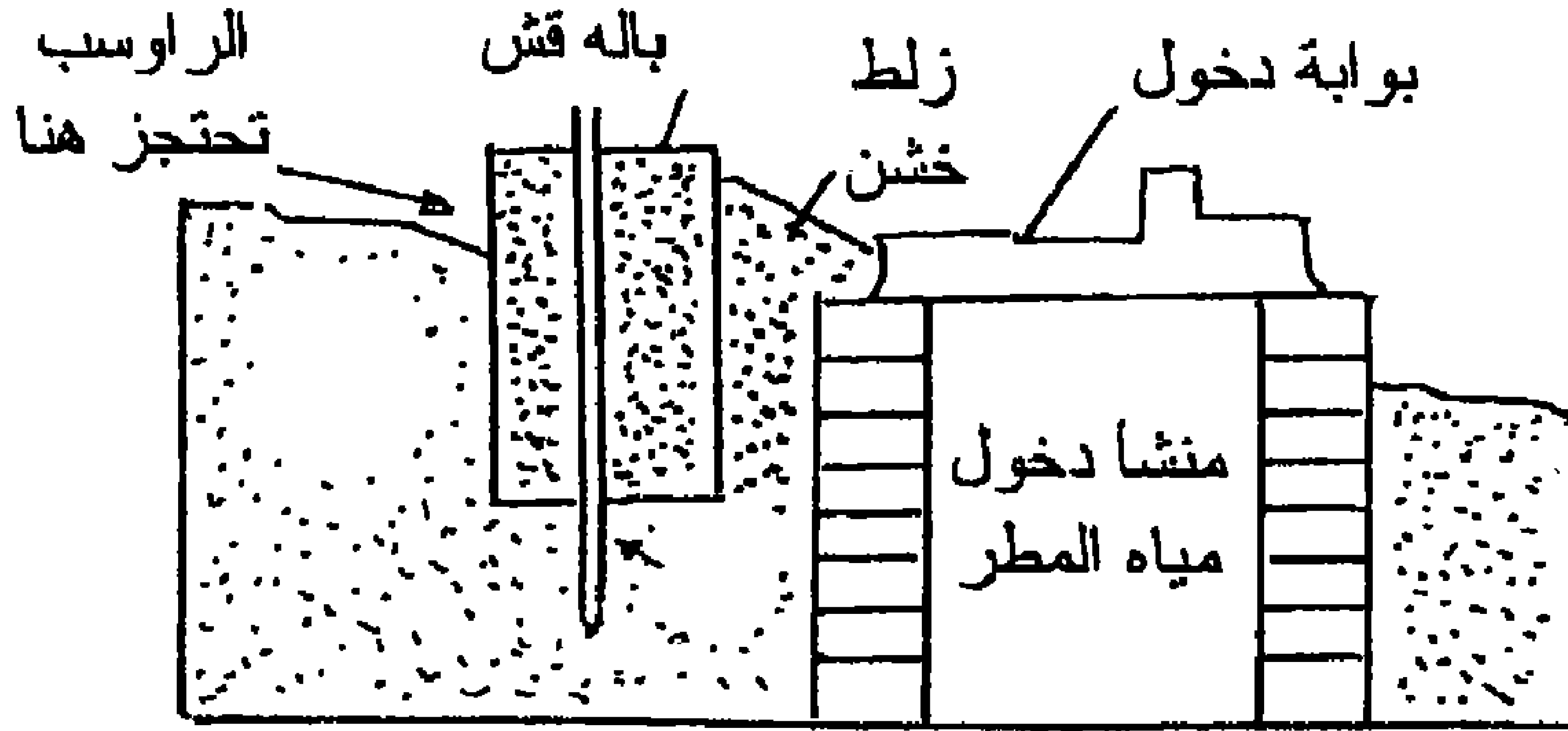
٦- يمكن بناء أحواض أو برك للرواسب لتتقاطع مع المياه الحاملة لحبيبات التربة. الرواسب ترسب فى قاع البركة، بما يحمى المجارى المائية أو نظم الصرف تحت التيار من موقع الإنشاء هذه البرك يمكن أن تكون مؤقتة أو ثابتة.

٧- الإنشاءات الأرضية يمكن تصميمها لخفض ذروة الفيضانات والتدفقات العالية.

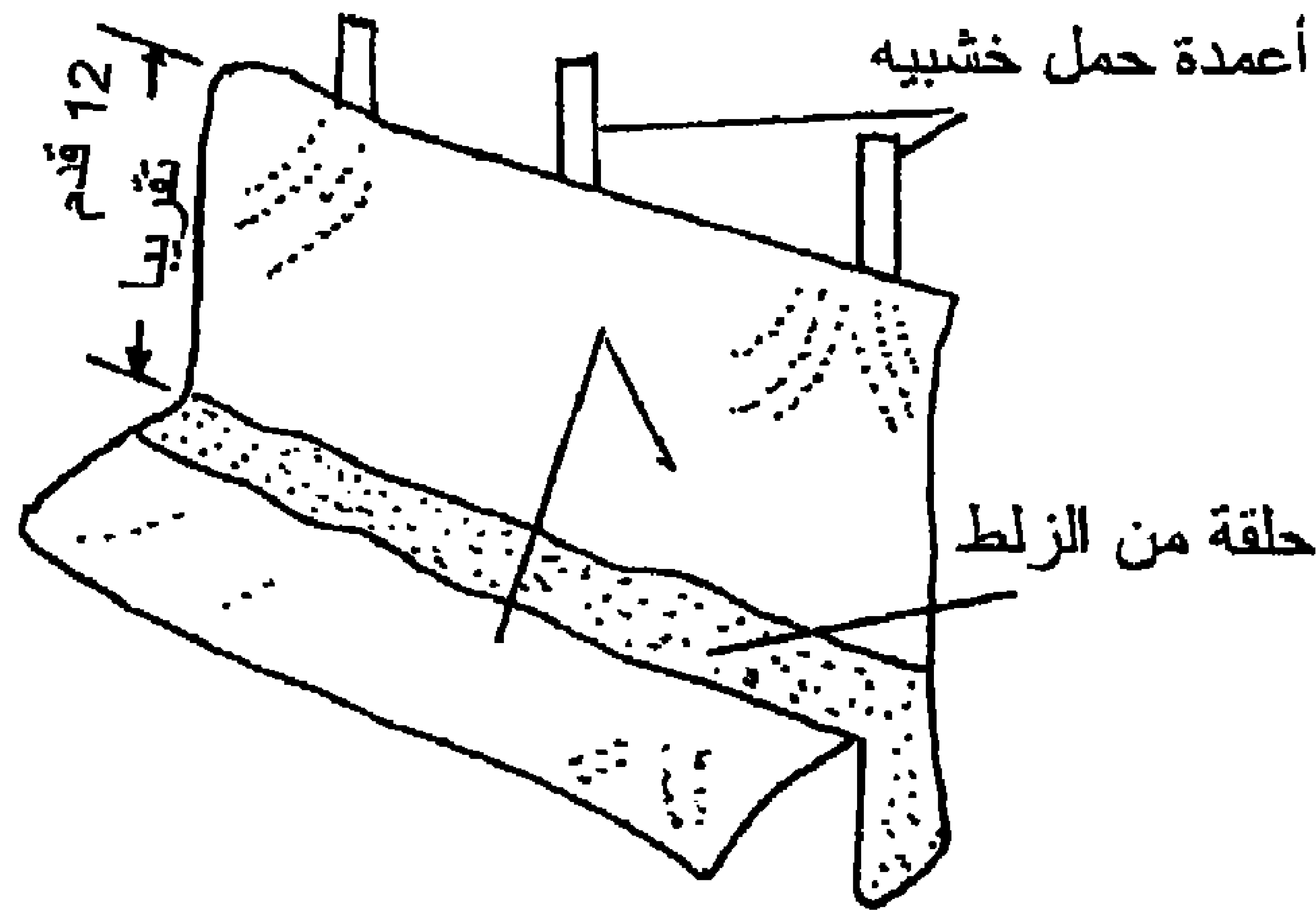
٨- يمكن استخدام تثبيت القنوات وحفر الصرف لتدفق المياه بدون البرى الحاد. يمكن خفض سرعات التدفق بالاستقامة المناسبة للميل. كذلك يمكن حماية القناة بالتبطين بالحشائش، الخرسانة، كتل الأحجار،.

٩- يتم عمل جدولة للإنشاءات لتقليل تعرض التربة العارية وذلك قبـل الرصـف النهائى أو تنفيذ التخطيط الجمالى.

١٠- يجب إتمام وسائل الصرف وحماية التربة مبكراً كلما أمكن ذلك.



شكل (٢/٥) نموذج لبالة القش والمرشح الزلطى الذى يمنع دخول الرواسب إلى نظام الصرف وبالتالى المجارى السطحية المحلية



شكل (٢/٦) سور مؤقت يمكن إنشاؤه لمنع البرى عند موقع الإنشاء

٤- تلوث المجرى المائى : (Stream pollution)

المجارى المائية والأنهار هى مياه سطحية حيث فيها تتحرك الكتلة المائية باستمرار فى قنوات بفعل قوى الجاذبية. وهى أقل عمقاً وأقل عرضاً من البحيرات وفرصة تعرض مياهها لسطح الأرض أكبر. المياه المتدفقة تحمل الطحالب بسرعة أسفل المجرى وتعمل على تثبيط نمو النباتات الجذرية على قاع المجرى.

يمكن للمجارى المائية والأنهار تحلل المخلفات العضوية القابلة للتحلل البيولوجى إلى حد ما. لذلك، فإنه يمكنها استعادة نقائها من تأثيرات التلوث طبيعيا بدون مخاطر بيئية كبيرة أو مستمرة. تتوقف قدرة التنقية الذاتية على حجم وتركيز الملوثات وعلى تصرف المجرى المائى أو معدل تدفقه. عادة يقال أن حل مشكلة التلوث هو التخفيف. تأثيرات التخفيف واستمرار أداء الدفق للمياه المتدفقة هى عوامل واضحة من بين طاقة المجرى المائى فى التنقية. وبنفس الأهمية هو تأثير انتقال الأكسجين بين الهواء والماء، وهذا ما يسمى إعادة التهوية (Reareation).

الأكسجين المذاب فى الماء يتم تجديده باستمرار مع إذابة الهواء الجوى عند سطح الماء. المجارى المائية ذات التدفقات السريعة والمضطربة يتم إعادة تهويتها بكفاءة أكثر من المجارى العميقة بطيئة التدفق. وذلك بسبب زيادة المساحة السطحية والالتصاق بين الهواء والماء فى التدفقات المضطربة وجيدة الخلط.

الكثافة السكانية الحالية العالية تزيد عن طاقة المجارى المائية والأنهار فى معالجة صرف مخلفات الصرف الصحى الغير معالج حيث يلزم عمل إجراءات وقاية بيئية لحماية الصحة العامة. لذلك فإنه يلزم عمل درجة ما من المعالجة لإزالة الكم الكافى من الحمل العضوى القابل للتحلل البيولوجى (BOD) من مياه الصرف الصحى بما يمكن التخفيف فى المجرى المائى وإعادة التهوية من استكمال مهمة التنقية. مستوى المعالجه الذى يسمى المعالجة الثنائية يكون عموماً كافياً لهذا الغرض، وهو أدنى مستوى مطلوب من المعالجة طبقاً لمعايير صرف مياه الصرف الصحى المعالج.

من المهم ملاحظة أنه ليس كل الملوثات يمكن معالجتها أو التخلص منها بالطرق الطبيعية. وهذا واقع بالنسبة للملوثات العضوية الغير قابلة للتحلل البيولوجى أو المنيعة (Non Biodegradable or Persistant) وهذه لا تتحلل فى البيئة. حتى أن العملية الطبيعية للتخفيف غير مؤثرة عند احتجاز هذه الكيماويات المنيعة فى رواسب النهر.

مثالين لهذه المشكلة هما تراكم المادة الكيماوية السامة التى هى (Boly Chlorinated biphenol) فى رواسب نهر هادسون فى ولاية نيويورك وتلوث رواسب نهر جيمز فى فرجينيا بالمبيد الحشرى (Kepone). هذه المشاكل قد تظل لحين إزالة الترسيبات من قاع النهر ولكن عملية الإزالة هذه قد تزيد من التلوث وذلك بتقليب الرواسب الملوثة.

التخفيف : (Dilution)

توجد خطوتان أساسيتان فى عملية معالجة المخلفات فـــى المجـــرى أو النهـــر. أولا العمليات الطبيعية التى تتم بالتخفيف والتهوية، ثانيا حدوث العمليات البيولوجية، التى فيها تستخدم الكائنات الحية الدقيقة التى فى الماء الأكسجين المذاب لتحلل الملوثات العـــضوية وتحويلها إلى مواد غير ضارة. بهدف حساب درجة التنقية يكون مـــن الـــضرورى أولا تقدير التأثير الطبيعى لتخفيف صرف المخلفات.

عند نقطة الصرف لمياه الصرف فى المجرى المائى الجارى، فـــإن عمليـــة الخلـــط الطبيعية والتخفيف تبدأ فى الحال. باستثناء المجارى المائية ذات الإضطراب الـــضعيف، (Small Turblent streams)، فإنه من غير المحتمل أن يتم الخلط الجيد للملوثـــات فـــى تدفقات المجرى عند أو قريبا من نقطة الصرف. ولكن تتكون سحابة كبيرة من المخلفات كما فى الشكل (٢/٧). طول هذا الاتساع التدريجى لمنطقة الخلط يتوقف علـــى الـــشكل الهندسى للقناة، سرعة التدفق، وتصميم ماسورة الصرف.

فى إجراءات حماية المياه من التلوث، يكون عادة من الضرورى استنتاج تركيـــزات الأكسجين المذاب ومستويات الأكسجين المذاب تحت التيار لنقطة صرف مخلفات الصرف الصحى. أحد أول الحسابات اللازمة لهذا تشمل تأثير التخفيف. بفرض أن الملوث يكـــون تام الخلط فى تدفق المجرى (عند نقطة أسفل نهاية منطقة الخلط)، فإنـــه يمكـــن حـــساب تركيز التخفيف لأى معيار لنوعية المياه باستخدام الميزان المادى الآتى :

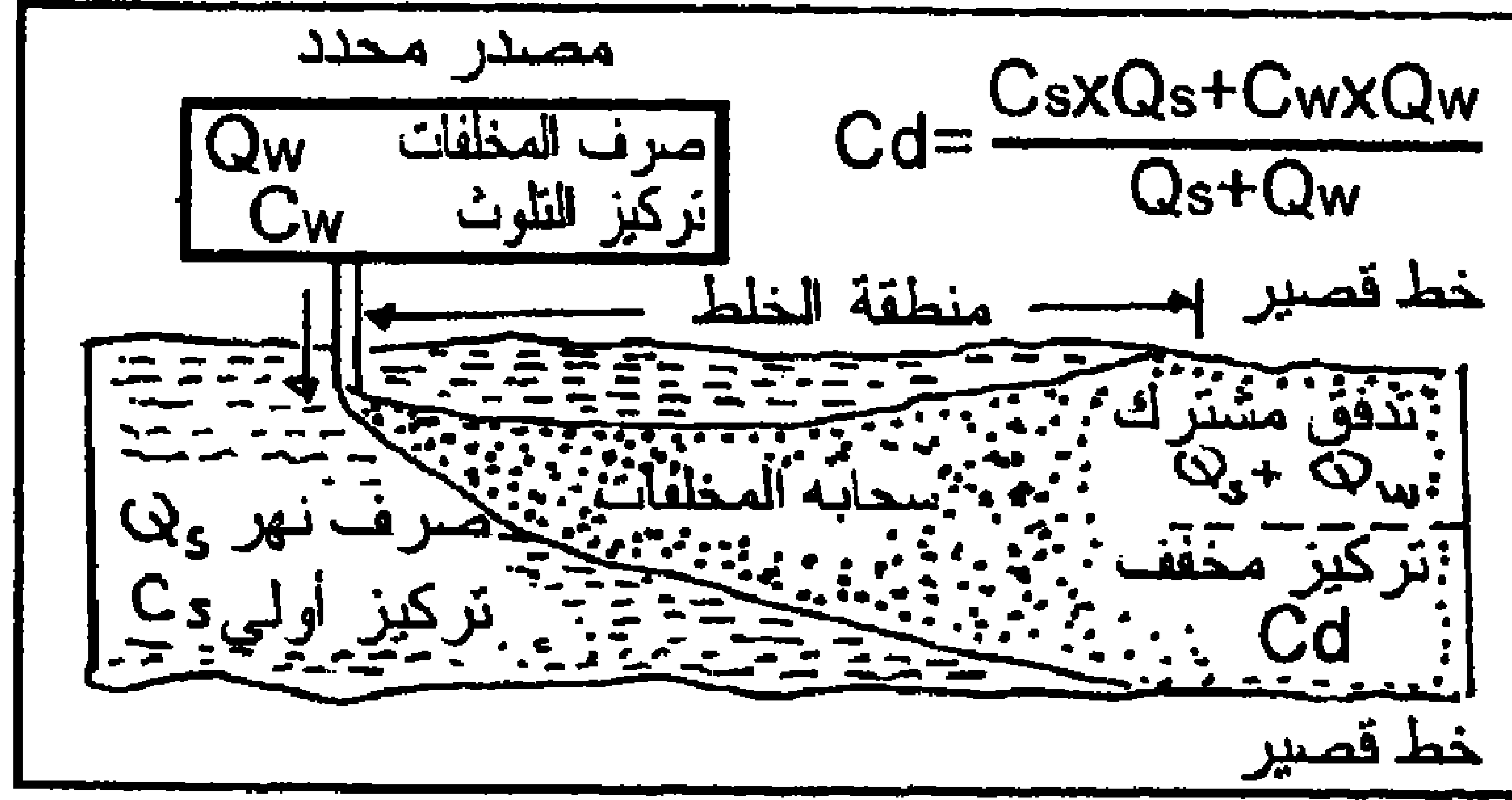
$$Cd = \frac{Cs\,Qs + Cw\,Qw}{Qs + Qw}$$ معادلة رقم (١)

حيث :

Cd = تركيز التخفيف أو درجة الحرارة.

Cs = التركيز الأصلى للمجرى أو درجة الحرارة.

Cw = تركيز المخلفات أو درجة الحرارة.



شكل (٢/٧) تخفيف الملوثات من مصدر محدد، مثل محطة معالجة صرف صحى، يحدث خلال منطقة الخلط للمجرى المائى

مثال رقم (١) :

الجمل العضوى (BOD٥) للصرف من محطة معالجة صرف صحى هو ٢٥ ملجرام/لتر ومعدل التدفق لمياه الصرف المعالجة هو ٤ مليون لتر فى اليوم. المجرى المائى المستقبل به حمل عضوى (BOD٥) ٢ ملجرام/لتر ومعدل تدفق المجرى هو ٤٠ مليون لتر فى اليوم. احسب جملة الحمل العضوى (BOD٥) فى المجرى أسفل منطقة الخلط تماماً.

الحل :

باستخدام المعادلة رقم (١)

$$Cd = \frac{2 \times 40 + 25 \times 4}{40 + 4} = \frac{180}{44}$$

= ٤,١ ملجرام/لتر

مثال رقم (٢)

نهر له تصرف الجو الجاف ١٠٠ قدم مكعب فى الثانية ودرجة حرارة ٢٥°م. احسب أقصى تصرف لمياه التبريد عند ٦٥°م التى يمكن صرفها من محطة توليد الطاقة فى المجرى المائى. افتراض أن الحدود القانونية لزياد ة درجة الحرارة فى المجرى هى ٢°م.

الحل :

أقصى درجة حرارة مسموح بها للمجرى هى ٢٥ + ٢ = ٢٧°م

باستخدام المعادلة رقم (١)

$$27 = \frac{25 \times 100 + 65 \times Qw}{100 + Qw}$$

بضرب كلا طرفى المعادلة فى (Qw + ١٠٠)

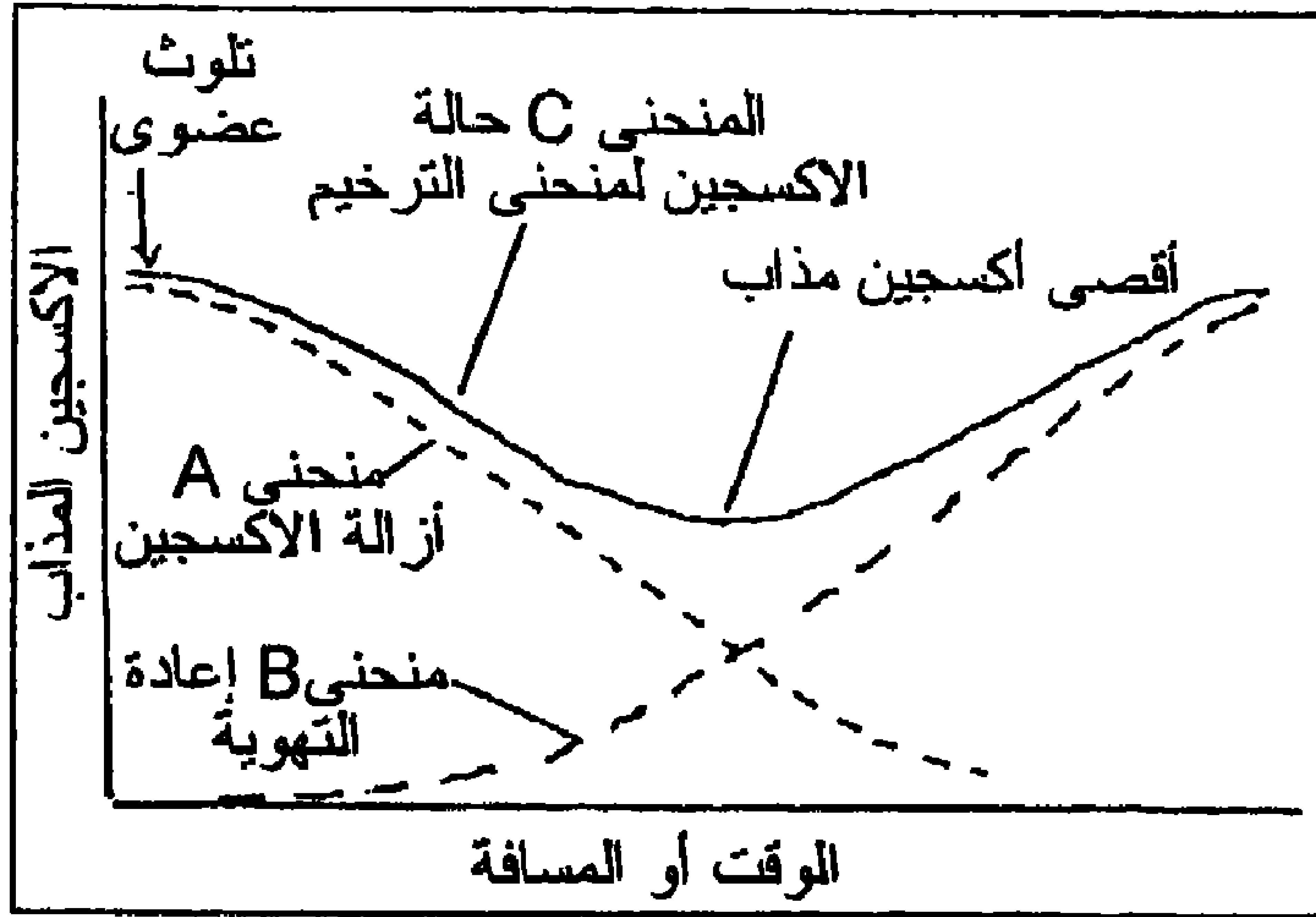
٢٧٠٠ + ٢٧Qw = ٢٥٠٠ + ٦٥Qw

.. ٣٨Qw = ٢٠٠

.. Qw = ٢٠٠ ÷ ٣٨ = ٥,٣ قدم مكعب فى الثانية

شكل الأكسجين المذاب : (Dissolved Oxygen Profile)

عند صرف مخلفات الصرف الصحى فى المجرى المائى، فإن الأكسجين المذاب يستخدم بواسطة الكائنات الحية الصغيرة عند الأيض (Metabolize) وتحلل المواد العضوية من مياه الصرف. الميكروبات تفرز الأكسجين الحيوى المطلوب أو (BOD). هذا الأكسجين الحيوى المطلوب يسبب الانخفاض التدريجي للأكسجين المذاب فى المجرى المائى. وهذا موضح فى الشكل (٢/٨) حيث المنحنى (A) يسمى منحنى إزالة الأكسجين فى المجرى. عندما يحدث خفض تدريجى للأكسجين (Deoxygenation) فإن الأكسجين من الهواء الجوى يذوب فى الماء عند السطح. معدل انتقال الأكسجين من الهواء إلى الماء يتوقف على درجة الحرارة وكذلك على انخفاض الأكسجين المذاب والذى يساوى الفرق بين التركيز الحقيقى للأكسجين المذاب وقيمة تشبع الماء بالأكسجين المذاب. كلما زاد هذا الفرق كلما زادت سرعة انتقال الأكسجين. وهذا موضح فى المنحنى (B) فى الشكل (٢/٨) والذى يسمى منحنى إعادة التهوية للمجرى. لاحظ أن الميل (معدل التغير) لمنحنى إعادة التهوية يزداد بالتدريج مع انخفاض منحنى الخفض أو الإزالة للأكسجين.



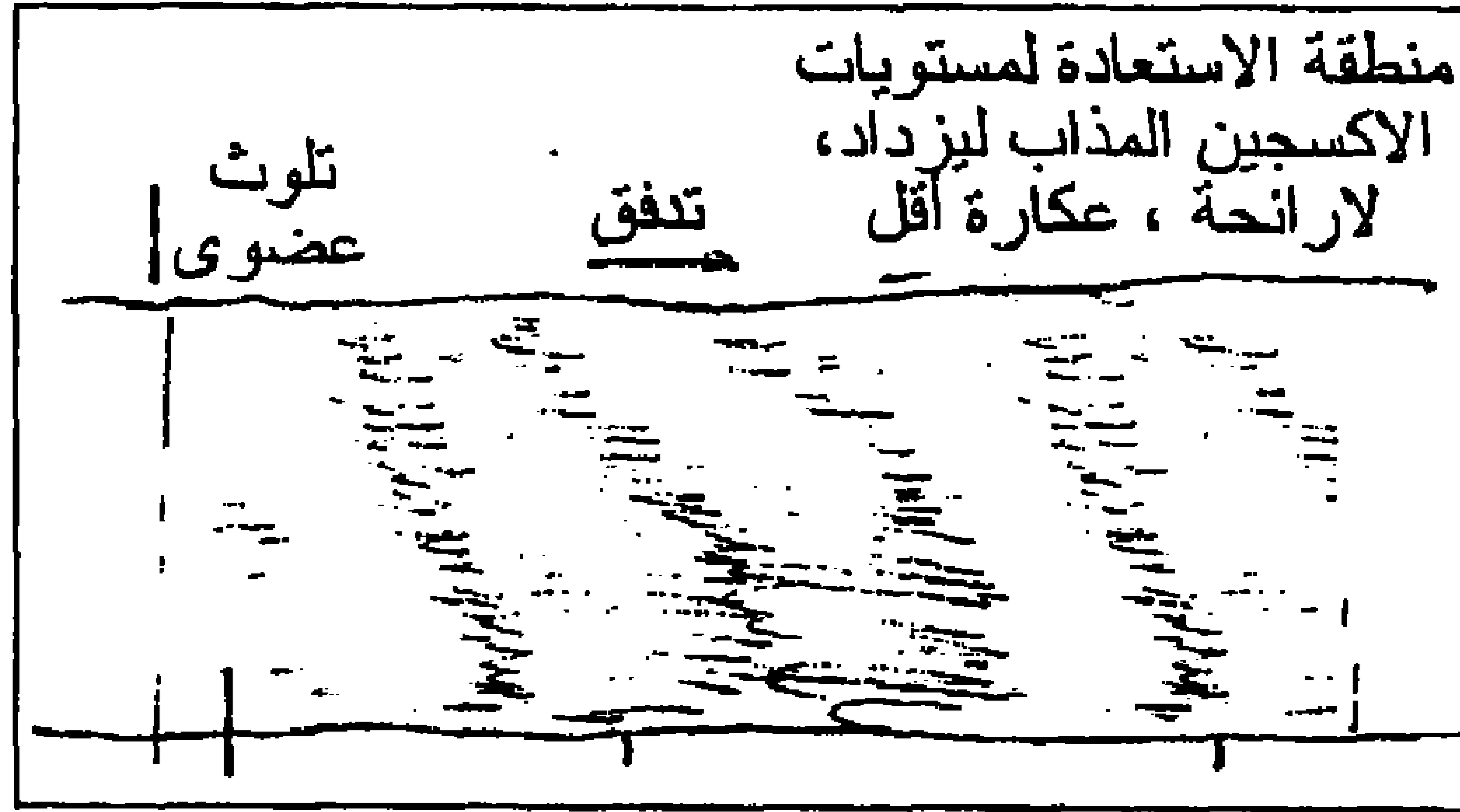
شكل (٢/٨) منحنى ترخيم الأكسجين يوضح تأثير التلوث العضوى على مستوى الأكسجين المذاب فى مجرى أو نهر. بعد تحلل المواد العضوية فإن إعادة التهوية السطحية سوف تعيد النوعية الأصلية للماء. وهذا يسمى التنقية الذاتية للمجرى المائى.

فى أى وقت معين، يكون مستوى الأكسجين المذاب فى المجرى هو دلالة للتأثير المشترك لعملية خفض الأكسجين وإعادة التهوية. بمعنى آخر، فإن الأكسجين المذاب الحقيقى يساوى مجموع الأكسجين المذاب على منحنى الانخفاض التدريجي للأكسجين زائد الأكسجين المذاب على منحنى إعادة التهوية.

شكل مجموع الأكسجين المذاب مقابل الوقت موضح فى المنحنى (C)، والذى يسمى ترخيم منحنى الأكسجين المذاب (DO sag Curve). نظراً لأن حاصل ضرب السرعة فى الوقت يساوى المسافة حيث [متر /ث × ث = متر]، فإن المحور الرأسى، الأفقى أو المحور (X) في الشكل (٥/٨) يمكن كذلك بيانه "كمسافة" للوصول إلى تركيز معين فى المجرى. المنحنى (C) هو شكل عام لتركيزات الأكسجين المذاب على طول المجرى المائي ويسمى كذلك الشكل العام للأكسجين المذاب.

فى المراحل الأولى يزيد معدل خفض الأكسجين عن معدل إعادة التهوية، لذلك فإن شكل بروفيل الأكسجين يبدأ فى الترخيم (الانخفاض). بعد تحلل معظم المواد العضوية يبدأ شكل بروفيل الأكسجين فى الارتفاع نحو مستواه الأصلى. أدنى محتوى من الأكسجين المذاب فى المجرى يحدث عندما يتساوى معدل إعادة التهوية مع معدل الخفض التدريجى للأكسجين (إزالة الأكسجين). حساب هذا المستوى له أهمية فى دراسات تلوث الماء.

فى حالة التلوث العضوى الزائد أو الخفض الكبير فى تدفقات المجرى فإن الأكسجين فى الماء يمكن اختفاؤه تماماً. منحنى الترخيم يتقاطع مع المحــور الأفقــى عنــد إذابــة الأكسجين تساوى صفراً، بما ينتج عنه حالات لاهوائية أو تعفن. وهذا موضح فى الشكل (٢/٩).



منطقة المياه الرائقة مستوى الاكسجين المذاب عالى، ماء رائق بيئة صحيه

منطقة التحلل النشط مستويات منخفضه من الاكسجين المذاب، احتمال حالة تعفن

منطقة التحلل تلوث مرئى عكارة، مواد صلبه عالقه

شكل (٢/٩) مناطق التلوث فى المجرى الذى يستقبل ملوثات قابلة للتحلل البيولوجى

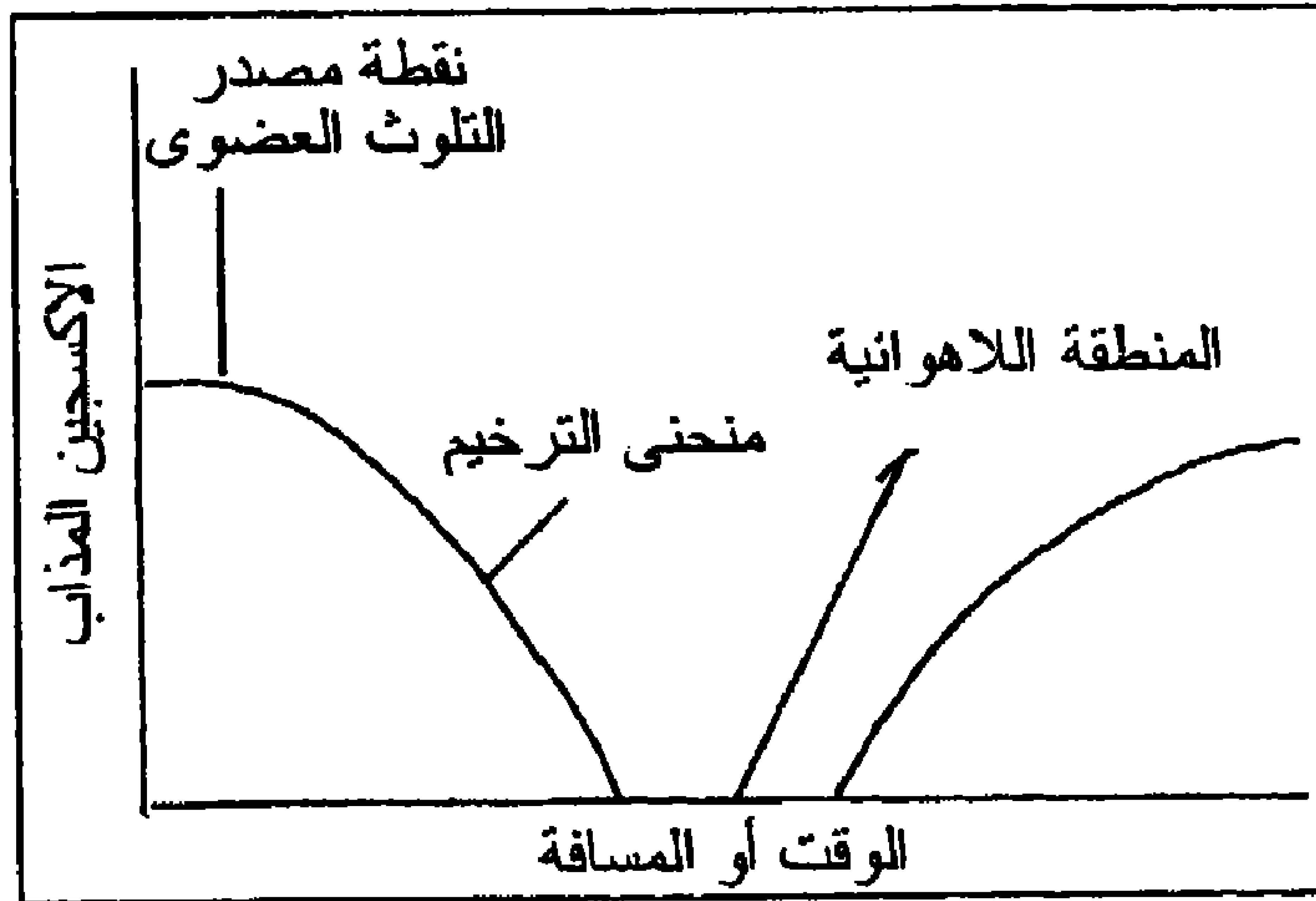
مناطق التلوث : (Zones of Pollution)

معظم المجارى المائية التى يحدث لها تلوث بفعل المصدر المعين (Point Source) للمواد العضوية القابلة للتحلل البيولوجي يمكن وصفها وتقييمها فى شكل أربعة منــاطق محددة تقريباً الشكل (٢/٩).

المنطقة الأولى هى المنطقة الفاسدة (أو منطقة التحلل) (Degradation)، والتى تتكون أسفل نقطة الصرف للمخلفات. تتصف هذه المنطقة بوجــود المــواد الــصلبة الطافيــة، والعكارة وشواهد مرئية أخرى للتلوث. مستوى الأكسجين المذاب يبدأ فى الهبوط سريعاً فى هذه المنطقة.

عند انخفاض مستوى الاكسجين المذاب إلى حوالى ٤٠% من قيمة تشبعه، فإن منطقة التحلل النشط يعتبر أنها تبدأ. هذه المنطقة هى من صفات المياه شديدة التلوث. الأجنــاس العالية من الكائنات المائية والأصناف المرغوبة مثل سمك السلمون إمــا أن تمــوت أو

تهاجر بعيداً عن المنطقة. بعض أنواع الأسماك ذات المقاومة العالية يمكن أن تستمر. خليط الأصناف المختلفة يتغير بسبب انخفاض مستوى الأكسجين المذاب. ترسيبات الحمأة للمواد الصلبة العالقة يمكن أن تتكون فى المجرى المائى. فى حالة حدوث حالات لاهوائية شكل (٢/١٠)، فإنه يمكن ملاحظة فقاعات غازية، وحمأة طافية، ورائحة كريهة فى هذه المنطقة.



شكل (٢/١٠) عند الأحمال المرتفعة من التلوث فإن مستوى الأكسجين المذاب يمكن أن ينخفض إلى الصفر. وينتج عن هذا رائحة كريهة وعكارة. مع مرور الوقت وعلى مسافة تحت التيار تحدث تهوية للماء ويستعيد الماء نوعيته.

بعد تحلل معظم المواد العضوية بفعل البكتريا فى الماء، فإن معدل إعادة التهوية يزيد عن معدل انخفاض وإزالة الأكسجين. عند زيادة مستوى الأكسجين المذاب ثانياً إلى نسبة ٤٠% من تركيز التشبع. تبدأ منطقة التنقية. هذه المنقطة تتصف بالتنقية التدريجية للماء بدون روائح منفرة، إعادة ظهور الكائنات المائية المرغوبة. عندما يكون حمل المخلفات العضوية فى المجرى صغيراً أو فى حالة عدم وجود تخفيف كبير، فإن منطقة التنقية (Recovery) يمكن أن تلى مباشرة منطقة (التحلل) (Degradation)، مع عدم تكون لمنطقة التحلل النشط إطلاقاً. يلى منطقة التنقية منطقة المياه النظيفة. هذه المنطقة تتصف بالماء النظيف، المستوى المرتفع من الأكسجين المذاب، عيش الكائنات المختلفة، الاستفادة بمواد الغذاء الغير عضوية الثابتة والمتبقية فى الماء. فى الواقع فإن المجرى قد استعاد نوعيته الأصلية خلال عملية التنقية الذاتية. ولكن من الطبيعى فإن نقط الصرف الأخرى أو المصادر العشوائية للملوثات يمكن أن تحدث تغييراً فى شكل مناطق التلوث هذه فى

المجرى المائى، ولكن هذا الشكل أو النموذج له قيمة فى تفهم تلوث المجرى وإيجاد حلول تقنية للمشكلة.

حساب أدنى أكسجين مذاب :

من المهم القدرة على استنتاج أدنى مستوى للأكسجين المذاب فى المجرى أو فى النهر الملوث. فمثلاً، فى حالة صرف مياه الصرف المعالج من محطة معالجة جديدة لمياه الصرف الصحى فى مجرى به أسماك السلمون، فإن مستويات المعالجة الثنائية التقليدية يمكن ألا تزيل الأكسجين البيولوجى (BOD) الكافى لمنع الانخفاض الحاد فى الأكسجين المذاب تحت التيار. التعيين ما إذا كان المطلوب شكل من أشكال المعالجة المتقدمة للمحافظة على استمرار حياة سمك السلمون، فإنه يكون من الضرورى حساب أدنى أكسجين مذاب بسبب صرف المخلفات من مياه الصرف الصحى ومقارنته للقيمة المناسبة لسمك السلمون فى المجرى.

أحد التقنيات المستخدمة فى وصف وتقدير المجرى الملوث هو باستخدام يسمى بمعادلة إستريتر فيليبس (Streeter-Philips Equation). هذه المعادلة بنيت على فرضية أن العمليتين اللتين حدثا هما فقط خفض أو إزالة الأكسجين من الحمل العضوى BOD، إعادة التهوية بانتقال الأكسجين عند السطح. وتوجد معادلتان أساسيتان من نموذج ستريتر فيليبس لتلوث المجرى وانخفاض الأكسجين. الشكل (٢/١١) يوضح بعض المتغيرات لهذه المعادلات. أدنى أكسجين مذاب فى المجرى هو الفرق بين مستوى التشبع للأكسجين المذاب، والخفض الحرج للأكسجين.

$$t_c = \frac{1}{k_2 - k_2} \times Log\left[\frac{k_2}{k_1} \times \left(1 - D_i \times \frac{k_2 - k_1}{k_1 \times BOD_l}\right)\right] \qquad (٢)$$

$$D_c = \frac{k_1 \times BOD_L}{k \ - k_1} \times \left(10^{-k_1 tc} - 10^{-k_2 tc}\right) + D_i \times \left(10^{-k_2 tc}\right)$$

حيث :

tc = الوقت الذى يستغرقه الانخفاض الحرج للأكسجين أو أدنى تركيز للأكسجين، اليوم.

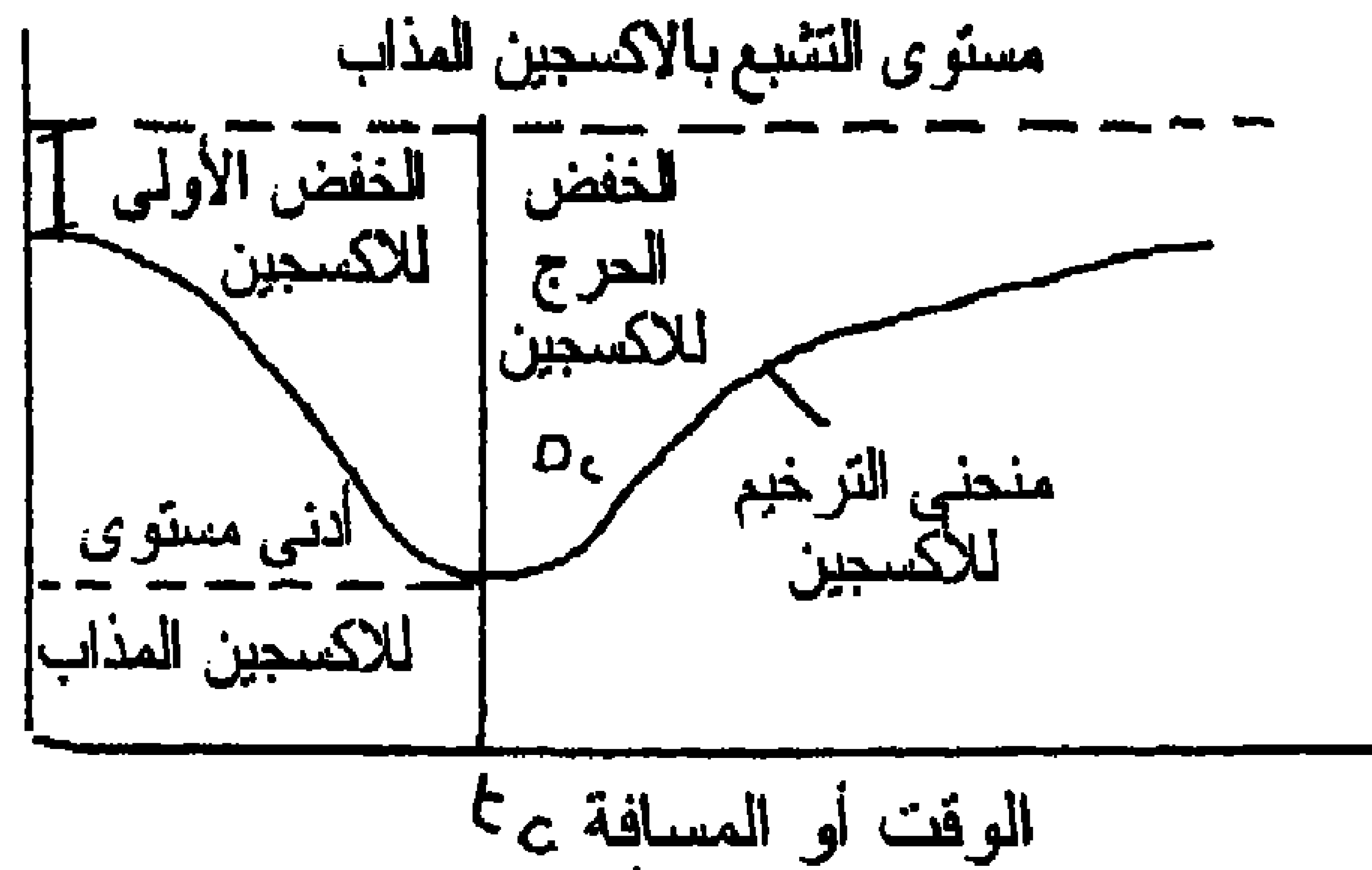
Dc = الخفض الحرج للأكسجين ملجرام/لتر.

D_i = الخفض الأولى للأكسجين بعد زمن t = صفر مباشرة أسفل نقطة صـــرف المخلفات فى المجرى، ملجرام/لتر.

BOD_L = أقصى حمل عضوى للمجرى (BOD) أسفل نقطة صـــرف المخلفـــات مباشرة ملجرام/ لتر.

K_1 = ثابت معدل خفض الأكسجين، اليوم -١ (d^{-1}).

K_2 = ثابت معدل إعادة التهوية، اليوم -١ (d^{-1}).



شكل (٢/١١) يمكن حساب الوقت الحرج tc، والخفض الحرج فى الأكسجين باستخدام المعادلات. أدنى أكسجين مذاب هو الفرق بين مستوى التشبع بالأكسجين المذاب، والخفض الذى يتم حسابه.

قيمة K_1 يمكن تعيينها فى المعمل. قيمة K_2 تتوقف على سرعة وعمق التدفق ويمكن تعيينها من الدراسات الحقلية أو بالمعادلة المناسبة. ثابت معدل إعادة التهوية K_2 يمكن أن يتغير للنهر من ٠,١ إلى حوالى ٤ للمجرى الضحل المضطرب. كلا من ثوابت المعدل K_1 ، K_2 يعتمد على درجة الحرارة.

والمعادلتان السابقتان يبدو أنهما معقدتين، وتم ذكرهما هنا لتوضيح قوة الرياضيات كأداة فى المحاكاة البيئية والمساعدة فى حل مشاكل تلوث المياه. ولكن رغم ما يبدو مـن التعقيد فأنهما ليسا بالدقة الكافية لتمثيل شكل الأكسجين فى المجرى الملـوث. العوامـل الأخرى ذات التأثير على ميزان الأكسجين تشمل التمثيل الضوئى، وعملية التنفس للنباتات الجذرية والطحالب، ومتطلبات الأكسجين للرواسب فى القاع. المعادلات التى تتناول هذه العوامل هى أكثر تعقيدا.

مثال :

الحمل العضوى المخفف (BODL) فى المجرى هو ٣ ملجرام/ لتر والأكسجين المذاب (DO) هو ٩ ملجرام/لتر. معدل تدفق المجرى ١٥ مليون جالون فى اليوم. مياه صرف صحى معالجة ذات حمل عضوى مخفف (BODL) = ٥٠ ملجرام/ لتر. الأكسجين المذاب فى مياه الصرف المعالج هو ٢ ملجرام/ لتر.

بفرض أن K١ = ٠,٢، K٢ = ٠,٥ ومستوى التشبع للأكسجين المذاب هو ١١ملجرام/لتر/ . عين أدنى مستوى للأكسجين المذاب فى المجرى. لمجرى سرعته ٠,٥ قدم/ الثانية، كيف يكون أدنى أكسجين مذاب تحت التيار؟

الحل :

أولا، من الضرورى حساب الحمل العضوى المخفف (BODL) والأكسجين المذاب باستخدام المعادلة رقم (١).

$$(BOD_L)=\frac{15\times3+5\times50}{15+5}=\frac{295}{20}=14.8\,Mg/L$$

$$DO=\frac{15\times9+5\times2}{15+5}=\frac{145}{20}7.3\,M/L$$

والآن أحسب الخفض الأولى فى الأكسجين كالآتى :

D_I = تشبع الأكسجين المذاب – الأكسجين المذاب الأولى.

= ١١ – ٧,٣ = ٣,٧ ملجرام/ لتر.

باستخدام المعادلة رقم (٢)

$$tc=\frac{1}{0.5-0.2}\times Log\left[\frac{0.5}{0.2}\times\left(1-3.7\times\frac{0.5-0.2}{0.2-14.8}\right)\right]$$

$$=\frac{1}{0.3}\times Log\left[2.5\times(1-0.375)\right]$$

Log ١,٥٦ (٣,٣٣) =٠,٦٤ يوم

لحدوث أدنى أكسجين مذاب سيستغرق ٠,٦٤ يوم (حوالى ١٥ ساعة).

الآن باستخدام المعادلة رقم (٣)

$$D_c = \frac{0.2 \times 14.8}{0.5 - 0.2} \times (10^{-2\times0.64} - 10^{-0.5\times0.64}) + 3.7 \times 10^{-0.5\times0.64}$$

= ٩,٨٧ x (٠,٧٥ - ٠,٤٧٩)+٠,٣٧ x ٠,٤٧٩ = ٢,٦٣ + ١,٧٣

= ٤,٤ Mg/L.

أدنى أكسجين مذاب هو الفرق بين الأكسجين المذاب للتشبع والخفض الحرج فى الأكسجين المذاب أو ١١ - ٤,٤ = ٦,٦ ملجرام/ لتر. عند سرعة ٠,٥ قدم فى الثانية فى ٠,٦٤ يوم المسافة تحت التيار لأدنى أكسجين مذاب هى :

٠,٦٤ يوم × ٢٤ ساعة فى اليوم × ٣٦٠٠ ثانية فى الساعة × ٠,٥ قدم فى الثانية = ٥ ميل تقريبا.

٥- تلوث البحيرة **(Lake Pollution)**

تلوث البحيرات الطبيعية أو الصناعية (الخزانات) يسبب مشاكل ولكنها تختلف عن المشاكل التى يسببها تلوث المجارى المائية أو الأنهار. هذا أساسا يسبب الخواص الطبيعية. الماء فى المجرى المائى دائم الحركة ويوفر أداء الدفق للملوثات القادمة، ولكن فى البحيرات المياه لا تتحرك كثيراً على الإطلاق وهى تحتجز لفترة زمنية طويلة. فى بعض الأحيان الملوثات التى يتم صرفها فى البحيرة يمكن أن تظل لسنين كثيرة. البحيرات كذلك تتأثر بشدة بفعل التغيرات الموسمية فى درجات الحرارة.

فى المجارى المائية، تؤثر الملوثات العضوية على حالة الأكسجين، فى البحيرات تكون نوعية المياه أكثر اعتماداً على الغذاء النباتى وليس المواد العضوية فى الصرف الصحى. فإن الفوسفات والنترات هما أهم غذاء حساس للنباتات. عند تراكم الملوثات المحتوية على الفوسفات والنترات فى البحيرات، فإن النباتات المائية الجذرية والطحالب حرة الطفو يمكن أن تنمو بوفرة.

الطحالب والنباتات المائية تموت أحيانا وترسب فى قاع البحيرة، حيث تتحلل بفعل البكتريا والبروتوزوا. وذلك يسبب مطالب للأكسجين على الماء ويعمل على خفض الأكسجين المذاب فى أجزاء من البحيرة. زيادة نمو الطحالب، أو السحب الطحلبية يمكن أن يكون غطاءاً من القاذورات الطافية على سطح الماء. وهذه لا ترى، ومع النمو الكثيف

للنباتات الذى يحدث على طول الشاطئ، فإنها يمكن أن تعيق حركة القوارب وعمليات صيد الأسماك. البحيرة التى تعانى من السحب الطحلبية ليست منتجعاً جيد للترفيه والاستمتاع. هذا بالإضافة إلى أنه فى حالة استخدام مياه البحيرة فى الإمداد بالمياه للشرب والاستخدام المنزلى فإن الطحالب تزيد من تكاليف معالجة المياه لأن الخلايا النباتية المجهرية تميل إلى إحداث انسداد فى مسام المرشح فى وحدة المعالجة بما يتطلب زيادة معدل نظافة المرشحات. كذلك فإنه يمكن أن يكون مطلوباً كيماويات إضافية للمساعدة فى الحد من المذاق والرائحة للمياه التى يسببها وجود الطحالب. تآكل النباتات، مع مواد التربة التى تحمل إلى البحيرة تتراكم بالتدريج فى شكل رواسب عند قاع البحيرة. ومع انخفاض منسوب المياه وبالتالى زيادة الدفء فإن ميزان الكائنات المائية يتأثر حيث أصناف تهاجر وأخرى تعود وهكذا.

فرط النماء الطحلبى وتعفنه فى البحيرة : (Eutrophication)

حقيقة زيادة عملية الغذاء وإمتلاء البحيرة التدريجى، هو ظاهرة طبيعية. وهى تسمى النماء الطحلبى (Eutrophication) ويمكن تقديرها أنها استمرار شيخوخة البحيرة الذى لا يمكن تفاديه.

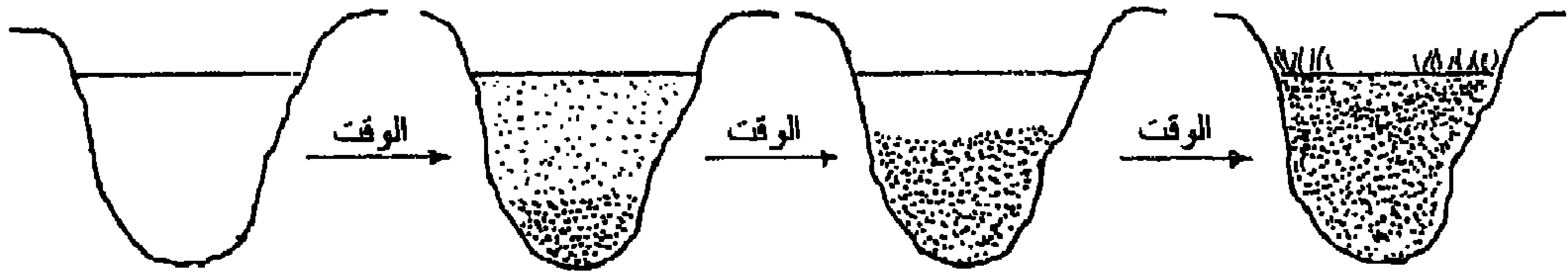
البحيرات لها دورة حياة طبيعية. معظم البحيرات تبدأ جيولوجياً ككتلة مائية رائقة عميقة باردة. فى هذه المرحلة، فإنها تسمى بحيرات فقيرة الغذاء وغنية بالأكسجين (Oligotrophic). وهذه عادة يكون لها قاع رملى أو حجرى، وقليل جداً من الغذاء، وندرة الحياة النباتية أو السمكية. بعد سنين تتراكم المواد الغذائية ببطء وتدخل كائنات أكثر من مجارى الدخول وما يحيطها. الرواسب الغرينية الرملية (Silty) تبدأ فى التكوين عند القاع مع مرور البحيرة خلال مرحلة التغذية المتوسطة (Mesotrophic) من وجودها.

مرحلة النماء الطحلبى للدورة الحياتية للبحيرة تتصف بضحالة ودفء المياه، مع الغذاء الكافى لغذاء الأعداد الكبيرة من الكائنات النباتية والأسماك. فى بحيرة النماء الطحلبى يوجد أحيانا سحابات بين الطحالب فى الماء، كما سبق توضيحه، وفى أوقات معينة من العام فإن الماء عند القاع يمكن أن يكون خالياً من الأكسجين المذاب. زيادة النماء الطحلبى وتعفنه وشيخوخة البحيرة يؤدى إلى ما يسمى البحيرة الهرمة (Senescent Lake)، والتى تتصف بالترسيبات الكثيفة من الغرين العضوي والمستويات المرتفعة من مواد الغذاء. البحيرات الهرمة تكون شديدة الضحالة مع زيادة نمو النباتات الجذرية خلال

البحيرة. قد يصل حال البحيرة إلى ما يسمى المستنقع مع استمرار العمليات الجيولوجية والبيئية الطبيعية. شيخوخة البحيرة موضحة فى الشكل (٢/١٢).

العملية الطبيعية للنمو الطحلبى فى البحيرة وتعفنه وانخفاض الأكسجين المذاب من مراحل انخفاض الغذاء ووفرة الأكسجين إلى مرحلة الهرم تستغرق آلاف كثيرة من السنين. وهى عملية شديدة الإبطاء.

ولكن كثيراً من الناس يستخدمون تعبير النمو الطحلبى (Eutrophication) مرادفاً للتلوث عند الإشارة إلى البحيرات. ربما أن الصفة الأكثر دقة للمشكلة تكون النمو الطحلبى المستنبت (Cultural Eutrophication). النمو الطحلبى المستنبت هو تعجيل وإسراع عملية الشيخوخة الطبيعية بسبب الأنشطة الآدمية فى حوض الصرف أو روافد تغذية البحيرة.



أقدم مرحلة للبحيرة ضحله جدا، زيادة كثافة ونمو النباتات الجذرية	المواد الغذائية وفيره الماء دافئ وضحل نسبيا مع نمو كثير من النباتات وبعض الكائنات المائية الأخرى ويحدث نمو كثيف للطحالب	بدء تراكم الرواسب ومواد الغذاء حيث يزداد ظهور تجمعات الكائنات المائية	ماء رائق عميق، قليل مواد الغذاء ، وقليل جدا من الكائنات المائية

شكل (٢/١٢) المراحل الأربعة لعمر البحيرة. كل البحيرات تمر خلال المراحل العمرية الطبيعية التى تسمى فرط النماء الطحلبى وتعفنه. الأنشطة الآدمية

طبيعى تعجل هذه العملية

الحد من النمو الطحلبى المستنبت :

حوالى ثلث البحيرات في الولايات المتحدة فاسد بدرجة كبيرة وذلك نتيجة النمو الطحلبى. وحوالى ثلث السكان يعيشوا على مسافة حوالى عشرة أميال من البحيرة. مخلفات الصرف الصحى المعالج وتدفقات مياه الأمطار السطحية تحمل كميات كبيرة من

مواد الغذاء للنباتات المائية (الطحالب) فى هذه البحيرات بما يعجل مــن عمليــة النمــو الطحلبى وتعفن النباتات الميتة وانخفاض المحتوى من الأكسجين المذاب فى الماء.

مركبات الفوسفور والنيتروجين هما من أهم مواد الغــذاء للنبــات، ولكــن، يعتبــر الفوسفور العامل الحدى ويحتاج إلى درجة عالية من التحكم. ويلزم فقط تركيز الفوسفور الغير عضوى حوالى ٠,٠٢ ملجرام/لتر ليسبب وجود سحابة طحلبية فى مياه البحيــرة، النيتروجين الغير عضوي يمكن أن يكون مستوى تركيزه أكبر من عشرة أضعاف هــذا المستوى. فى حالة المحافظة على تركيزات الفوسفور لتكون أقل من ٠,٠٢ ملجرام/ لتر فإنه عادة لا يحدث نمو كبير للطحالب. فى المناطق حيث معظم مدخلات مواد الغذاء من مصادر مشتتة، مثل التدفقات السطحية من المساحات الزراعية، فــإن طــرق المعالجــة المتقدمة لمياه الصرف الصحى تصبح ذات قيمة ضعيفة كطريقة للتحكم. ولقــد ثبــت أن أكثر من ٧ ملايين طن من النيتروجين، نصف مليون طن من الفوسفور تــدخل الميــاه السطحية من المناطق الزراعية كل عام فى الولايات المتحدة. الاستخدام الرشيد للأسمدة، وكذلك التحكم فى نحر التربة، حيود تدفقات المياه السطحية يجــب أن يكــون لهــم دور لحماية البحيرات فى المناطق الزراعية.

الطريقة الأخرى لخفض مدخلات الغذاء هو بتحويل تدفقات مياه الصرف الــصحى المعالج حول البحيرة إلى كتلة مائية أخرى مثل مجرى مائى، والذى يكون أقل حــساسية لمواد الغذاء. هذه الطريقة للحد من النمو الطحلبى تتطلب الإنشاء لنظم خطوط مواســير ممتدة ومتقاطعة.

مصدر آخر للتلوث بمواد الغذاء فى البحيرات هو التسرب تحت السطحى من نظــم الصرف تحت السطح لمخلفات الصرف الصحى مثل خزانات التحليل. حيث ثبــت مــن الدراسات التى قامت بها وكالة حماية البيئة (EPA)، أن كل خزانات التحليــل للــصرف الصحى على مسافة حتى ٩٠متراً من البحيرة يمكن أن تساهم فى وصول الغذاء الطحلبى إلى البحيرة. درجة هذا التلوث تعتمد على عمق المياه الجوفية والطبقة الصخرية، وكذلك ميل ومكونات التربة المحلية. عمر وحجم نظم التحليل للمخلفات الــصحية هــى كــذلك عوامل هامة ذات تأثير على أحمال المواد الغذائية. يمكن الحد من المضايقات والمــشاكل التى يسببها النمو الطحلبى فى البحيرات والخزانات مؤقتاً باستخدام كبريتــات النحــاس.

كبريتات النحاس تقتل الطحالب، ولكن يجب أن تكون الجرعة مناسبة ومدققة بحذر، ذلك لأنه يمكن أن تكون قاتلة للأسماك كذلك.

بديلاً عن الكيماويات يمكن التخلص المؤقت من المشكلة المتعلقة بالنمو الطحلبي بحصد الطحالب والنباتات. يمكن استخدام تجهيزات قطع تحت الماء مركبة على قوارب لقطع النباتات المائية ذات الجذور، وكذلك يمكن استخدام الشباك (Dredges) لإزالة الترسيبات، ولكن هذه ليست إجراءات عملية فى حالة الكتل المائية الضخمة.

الطبقات الحرارية : (Thermal Stratification)

البحيرات والخزانات تتأثر بالتغيرات الموسمية لدرجة الحرارة. هذه التأثيرات تسبب وجود طبقات من الماء وكذلك خلط أو انقلاب بسبب اختلافات درجة الحرارة. كلا من وجود الطبقات الحرارية والانقلاب الموسمى يمكن أن يكون لهما آثار كبيرة على تلوث ونوعية مياه البحيرة. فى درجة حرارة المناخ، تحدث دورة الطبقات والانقلاب مرتين فى العام، ففى حالة المناخ الدافئ حيث لا تتجمد المياه فإن الدورة تحدث مرة واحدة. وتكون الطبقات بسبب اختلافات درجة الحرارة فى مياه البحيرة مرتبط إلى حد كبير بشهور الصيف الحارة. مياه البحيرة تصبح دافئة بالهواء، والمياه الدافئة تكون طبقة عليا تسمى الطبقة البحيرية السطحية (Epilimnion). المياه الأبرد وبالتالى الأكثر كثافة تظل عند قاع البحيرة فى طبقة تسمى طبقة المياه البارد السفلى فى البحيرة (Hypolimnion). طبقة من الماء رقيقة نسبياً مع الانخفاض السريع فى درجة الحرارة من القمة إلى القاع والتى تسمى طبقة المنحدر الحرارى (Thermocline) تفصل كلا من الطبقة البحيرية السطحية وطبقة المياه الباردة السفلى فى القاع. طبقة المنحدر الحرارى هذه تعمل كحاجز طبيعى، الذى يحد من خلط المياه ما بين الطبقات العليا والسفلى للبحيرة. وهذا موضح فى الشكل (١٣/٢-أ).

المياه الدافئة فى الطبقة السطحية تختلط بالرياح وتستقبل طاقة من الشمس بما يمكنها من تنشيط نمو الطحالب، هذا الماء العكر نسبياً يعيق اختراق ضوء الشمس إلى أعماق كبيرة. طبقة المياه الباردة السفلى الراكدة تكون باردة ومظلمة نسبياً. لهذا فإن بعض أنواع الأسماك تفضل هذه البيئة الباردة المظلمة، ولكن المياه عند القاع قد تكون ذات نوعية غير

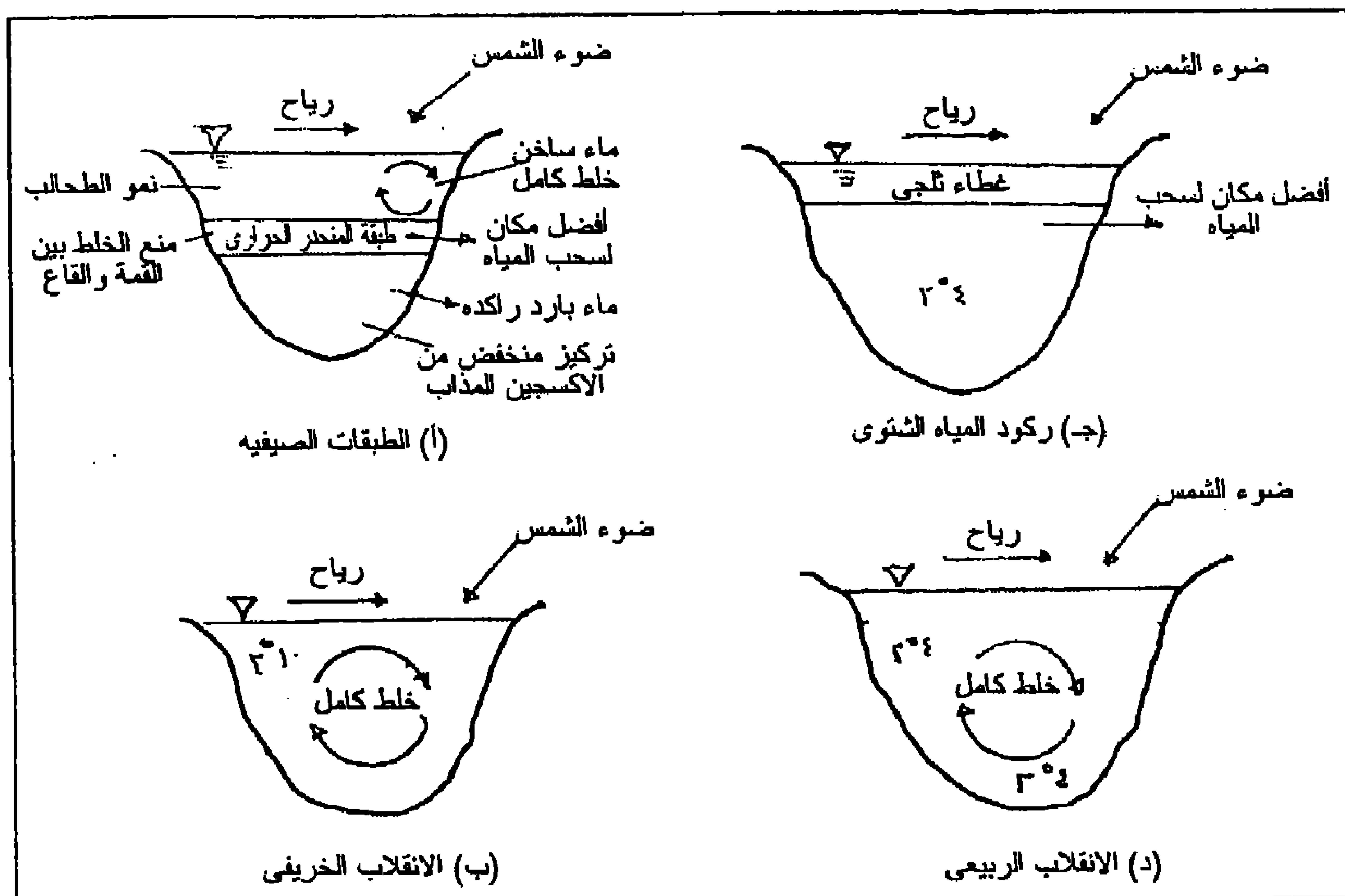
جيدة وخاصة فى البحيرة متوسطة التغذية (Mesotrophis). تحلل الرواسب فى القاع يمكن أن يسبب خفض فى الأكسجين المذاب فى هذه المنطقة، أحياناً تحدث حالات لاهوائية عند قاع البحيرة مع انخفاض درجة حرارة الهواء الجوى أثناء شهور الخريف، فإن ماء الطبقة السطحية يبرد ويصبح أكثر كثافة، ويبدأ فى الهبوط نحو قاع البحيرة. أحياناً، تصبح كـل البحيرة تامة الخلط وتختفى الطبقات الواضحة جيداً فى فصل الصيف. هذه الدورة والتى تسمى سقوط الانقلاب (Fall Over Turn) موضحة فى الشكل (٢/١٣-ب).

فى شهور الشتاء الباردة، عندما تغطى الثلوج سطح البحيرة (وهذا غيـر وارد فـى البلاد ذات المياه الدافئة) يحدث حالة من الركود الشتوى، ثم، فى الربيع وعنـد ذوبـان الجليد، وعند ارتفاع درجات الحرارة أعلا من 4°م (التى عندها تزاد كثافة الماء)، فإنـه يبدأ فى الهبوط نحو القاع، وبمساعدة الرياح فإن كل البحيرة تصبح تامة الخلط ثانياً. وهذا ما يسمى بانقلاب الربيع (Spring Over Trun). الركود الـشتوى والانقـلاب الربيعـي موضح فى الشكلين (١٣-٢- جـ، د).

البحيرات والخزانات المستخدمة فى إمدادات المياه، يكون الركود والانقلاب له تأثير على نوعية المياه. أثناء السقوط للانقلاب، كمثال، تصبح المياه ذات النوعية المتدنية فـى القاع (والتى تسمى طبقة القاع الباردة) تامة الخلط خلال كل حجم البحيرة. وهـذا عـادة يزيد من مشكلة المذاق والرائحة فى المياه المعالجة بـالطرق التقليديـة إلا إذا تـم أخـذ خطوات إضافية فى عملية المعالجة (مثل استخدام الكربون المنـشط فـى المرشـحات). إنشاءات مآخذ المياه يمكن بنائها فى البحيرة بحيث تكون بوابات الدخول والمحابس عنـد أعماق متعددة. هذا يوفر المرونة فى التشغيل وكذلك إمكانية الحصول على الميـاه ذات النوعية الجيدة وضخها إلى وحدة المعالجة. أثناء فصل الشتاء، تكون أفضل نوعية للمياه عند سحبها أسفل الغطاء الثلجى مباشرة. فى الصيف، تكون المياه السطحية ومياه القـاع ذات نوعية متدنية. فى هذا الوقت من العام، أفضل نوعية للمياه يتم سحبها من عمق أسفل طبقة المنحدر الحرارى مباشرة.

تمت محاولات لعديد من الطرق لخفض الآثار الضارة لتأثيرات الطبقات الحراريـة. عند انخفاض المحتوى من الأكسجين المذاب وزيادة النشاط اللاهوائى فى طبقـة الميـاه

الباردة السفلى فى البحيرة، فإنه أحيانا يتم نثر الهواء المضغوط خلال مواسير مثقبة موضوعة عند قاع البحيرة لرفع مستوى الأكسجين المذاب فى الماء. وأحياناً يكون الخلط الميكانيكي والخلط للطبقات يكون مؤثراً لتحسين نوعية المياه. أحد الطرق هي بضخ مياه القاع البادرة نحو السطح. المياه الباردة تعمل على خفض مشاكل الطحالب، وبذا تقل مشاكل المذاق والرائحة فى الماء.



شكل (٢/١٣) الطبقات الموسمية والخلط للبحيرة أو الخزان له تأثير على نوعية المياه

٦- تلوث المياه الجوفية (Ground Water Pollution)

تبلغ استخدامات المياه الجوفية حوالى ٢٥% من المياه العذبة المستخدمة فى كل الأغراض فى كثير من دول العالم بينما تصل هذه النسبة حوالى ١٠% فى مصر، بما فيها استخدامات الشرب والاستخدام المنزلي والري والاستخدام في الصناعة. ورغم هذا الاعتماد الكبير نسبياً إلا أن المياه الجوفية أصبحت لسنين طويلة أحد أهم مصادر المياه الطبيعية المهملة فى كثير من دول العالم.

ونظراً لأنها تحت سطح الأرض فإن المياه الجوفية غير منظورة مثل الموارد الطبيعية الأخرى، مثل الأنهار والبحيرات، وبذا قل استخدامها والمحافظة على صلاحيتها.

المياه الجوفية هى عادة ذات نوعية ممتازة. هذا أساساً بسبب الترشيح الطبيعى الذى يحدث فى طبقات التربة التى يتحرك خلالها الماء ببطئ. المسافة التى يمكن أن يقطعها الملوث فى التربة تعتمد على كل من نوع التربة ونوع الملوث. فمثلاً، الترسيبات من الرمال الناعمة يمكن أن تزيل المواد الصلبة العالقة والبكتريا من الماء فى مسافة قصيرة، بينما الزلط أو تشققات الصخور يمكن أن تسمح لتلك الملوثات بأن تتسرب إلى مسافات كبيرة. الملوثات المذابة لا تتأثر مطلقاً بفعل عملية الترشيح للتربة، رغم احتمال حدوث عمليات أخرى مثل الإدمصاص. وفى خلال سبعينات القرن الماضى زاد عدد اكتشافات تلوث المياه فى كثير من الأماكن. هذه الملوثات تجئ من مصادر كثيرة ومتعددة بما فيها مواد متعددة أكثرها تأثيراً هى المركبات العضوية المخلقة (Synthetic) وهذه تشمل مجموعة من المواد تسمى الهيدروكربونات المكلورةChlorinated - Hydrocarbons) مثل التراى كلورو إيثيلين ورابع كلوريد الكربون. كثيراً من هذه المواد العضوية سام وبعضها يمكن أن يكون مسرطناً، أو مسبباً للطفر الوراثى فى الجينات (Mutagens)، وهذا يشكل مخاطر حادة على الصحة العامة عند تركيزات منخفضة حتى ١٠ ميكروجرام فى اللتر (١٠ جزء فى المليار).

من بين كل أنواع ملوثات المياه، ربما يكون ذلك هو الأشد غدراً، ذلك لأنه عند التركيزات المنخفضة فإن هذه الملوثات نادراً ما تسبب مذاق أو رائحة لمياه الشرب. الماء يبدو رائقاً بللورياً، ولكنه بعيد كل البعد عن نقائه الأصلى. فى بعض الحالات، وجد أن تركيزات المواد العضوية المصنعة فى المياه الجوفية الملوثة زاد بأضعاف المستوى الموجود من هذه المركبات التى وجدت فى الأنهار شديدة التلوث.

المعدل البطئ لتدفق المياه الجوفية فى الخزان الجوفى تم تناوله فى الفصل الثالث. وهذا عامل هام عند تقدير تأثير تلوث المياه الجوفية. نظراً لأن المياه الجوفية تتحرك ببطء، حوالى أقل من ٣٠ متراً فى العام، فإن الخزان الجوفى الملوث سيظل ملوثاً لمئات السنين. فى حالة تلوث الخزان الجوفى المستخدم لإمدادات مياه الشرب فقد يكون من الضرورى ترك الآبار الملوثة وحفر آبار جديدة على مسافة بعيدة أو البحث عن مصادر سطحية بديلة. فى بعض الحالات يكون من الناحية الاقتصادية أن الأفضل هو إقامة وحدات معالجة خاصة، مثل أجهزة التهوية أو مرشحات الكربون النشط، لإزالة الملوثات، ولكن هذا يضيف عبء مادى على عملية معالجة المياه.

مصادر التلوث :

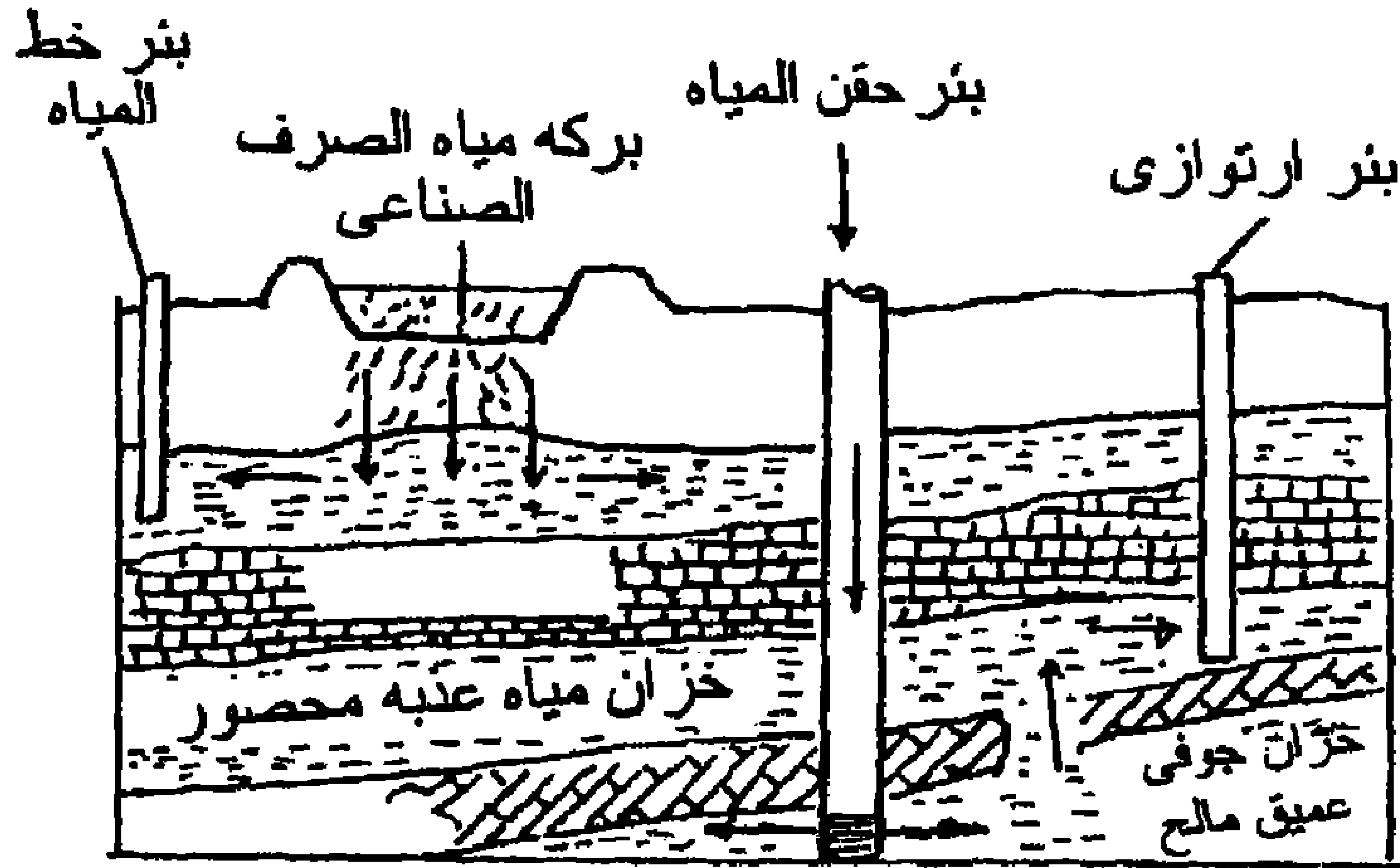
حتى في المناطق البعيدة عن الأنشطة الإنسانية فإن المياه الجوفية قد لا تكون نقية. رغم خلوها من العكارة بسبب الترشيح الطبيعي، إلا أنها تحتوى عادة أعلى مواد معدنية مذابة. وهذا متوقع نظراً لالتصاق الماء مع المواد المعدنية في التربة وترسبات الصخور لمدة زمنية طويلة. المياه الجوفية عادة يكون مستوى العسر فيها أعلا من المياه السطحية لهذا السبب، ولكن في معظم الحالات لا تشكل الملوثات الطبيعية للمياه الجوفية أى تهديد للصحة العامة.

المشكلة الرئيسية بالنسبة لمخاطر تلوث المياه الجوفية كانت الصرف العشوائي للمخلفات والإنسكابات العرضية للمواد الخطرة وخاصة تلك التى من الأنشطة الصناعية. المنتجات البترولية التى تتسرب من خزانات الحفظ تحت الأرض القديمة هى مصدر آخر لتلوث المياه الجوفية.

المخلفات الصناعية :

صرف المخلفات الصناعية الكيماوية في أحواض سطحية مثل حفر الردم الغير مبطنة أو في البحيرات الضحلة يمثل مصدرا كبيرا لتلوث المياه الجوفية، جزء كبير من المخلفات الصناعية يكون مخلفات خطرة. التخلص من هذه المخلفات السائلة أو الصلبة في الأرض يتم بذلك الأسلوب لأنه الطريقة الوحيدة الغير مكلفة للتخلص من هذه المواد الغير مطلوبة. ورغم أن هذه الطريقة تبدو أنها البديل الاقتصادى لمعالجة المخلفات، إلا أنها على المدى الطويل تكون مكلفة جداً للمجتمع ككل بالنسبة للمخاطر الصحية وتكاليف أنشطة نظافة هذه الملوثات.

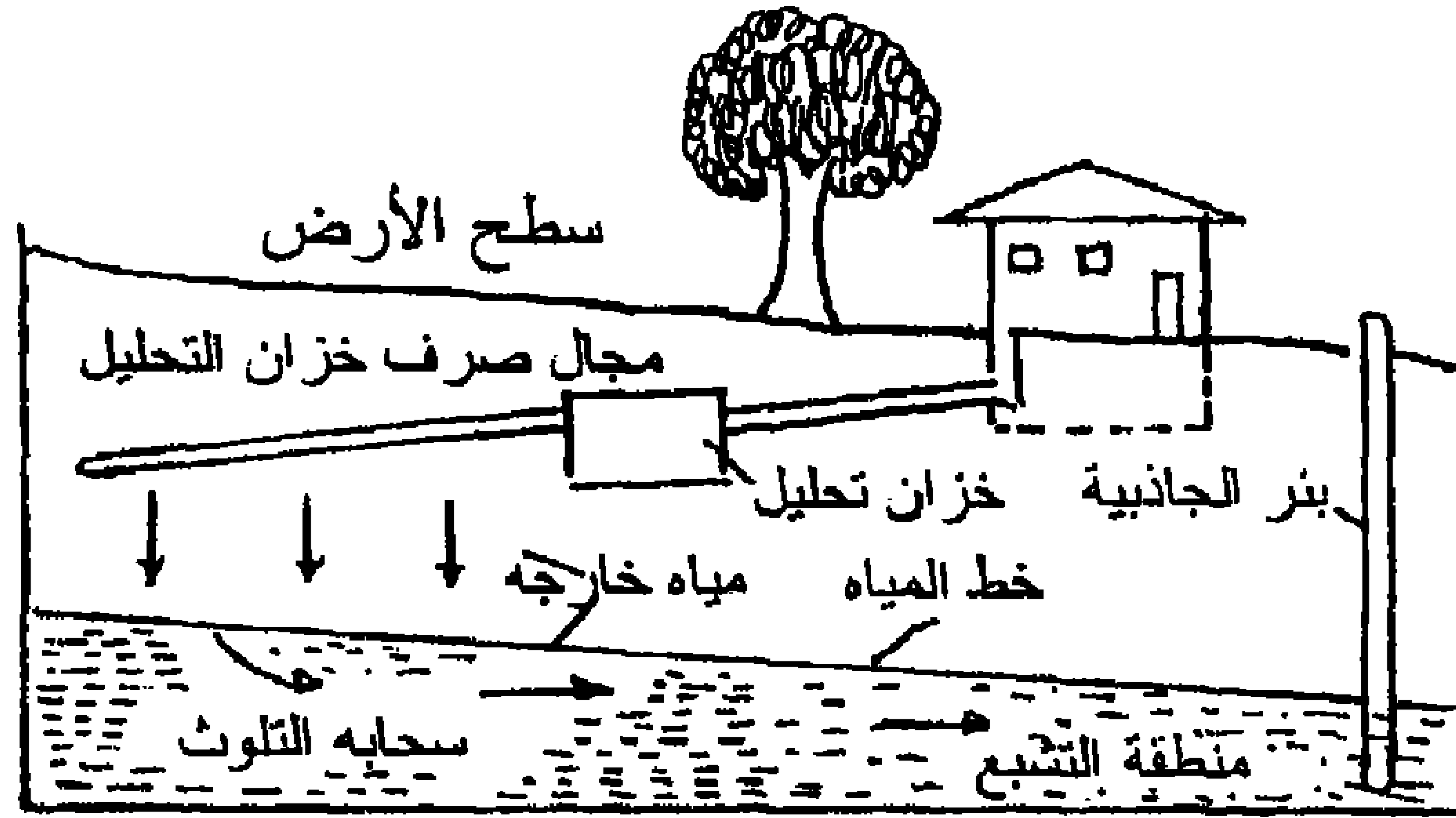
وكثيراً من الخزانات السطحية للتخلص من المخلفات الصناعية ليس لها بطانة عزل عند القاع وهذا يخالف معايير التخلص من المخلفات. السوائل الملوثة التى تتسرب من هذه الخزانات السطحية أو البرك خلال التربة حتى الوصول إلى خزان المياه الجوفية. وهذا موضح في الشكل (٢/١٤) (السائل من منطقة الردم للمخلفات الصلبة يسمى الغسول Leachate –).



شكل (٢/١٤) مخطط يبين مصدرين لتلوث المياه الجوفية من مخلفات الصرف الصناعى، من التسرب السطحى لبرك الصرف الصناعى أو من الحقن الجوفى العميق لمياه الصرف. الأسهم تبين اتجاه تدفق الملوثات. تبطين قاع بركة الصرف والدراسة الجيولوجية المتقنة للخزان الجوفى المالح يمكن أن تساعد فى منع التلوث

والكيماويات العضوية مثل (Polychlorinated Biphenol) والبنزين (C_6H_6) وجدت فى المياه الجوفية فى كثير من مواقع التخلص السطحى للمخلفات الصناعية. أحد المواد التى وجدت كثيراً هى التراى كلورو إيثيلين وهى هيدروكاربون مكلور يستخدم كمذيب ولإزالة الشحوم. وجدت كذلك المعادن الثقيلة مثل السيلينيوم، الزرنيخ، أملاح السيانيد.

أحياناً يتم ضخ المخلفات السائلة الصناعية خلال آبار عميقة، فى عملية تسمى حقن البئر العميق (Deep Well Injections). وإن كانت هذه الطريقة يمكن أن تكون مقبولة أحياناً وذلك عندما تكون الظروف الجيولوجية مناسبة، ولأن المياه الجوفية عند أعماق أكبر من ٣٠٠ متر عادة تكون مياه مالحة وغير مناسبة للاستخدامات الأخرى. إلا أنه مع الحقن الجوفى العميق فإنه يحتمل حدوث تلوث عرضى لخزانات جوفية هامة لإمدادات المياه، كما هو موضح فى الشكل (٢/١٥) لذلك فإن الحقن الجوفى العميق يلزم تقييده تماما.



شكل (٢/١٥) المياه الجوفية يمكن أن تتلوث من نظم التخلص من مياه الصرف الصحى. الآبار المقامة تحت التيار لمجالات امتصاص مخلفات التحليل تكون معرضة للتلوث.

نظم الصرف تحت السطح للصرف الصحى :

نسبة كبيرة من سكان الريف قليلة من سكان المدن يتم صرف مخلفاتهم الصحية تحت السطح. النظام المتبع فى الاستخدام هو خزان التحليل حيث يتم صرف السائل خلال التربة. وقد يستخدم أحياناً خزان التحليل لتخزين المواد الصلبة بينما يتدفق السائل من خزان التحليل خلال شبكة من المواسير المثقبة المدفونة والتى تعمل على نشر السائل خلال مساحة كبيرة من التربة لكي تتسرب ببطء خلال التربة وتتحلل طبيعيا. أحياناً يكون صرف خزانات التحليل من مصادر تلوث الآبار بالبكتريا الغائطية والفيروسات. كذلك فإن سوائل نظافة خزانات التحليل التى قد تستخدم أحياناً قد تحتوى على مذيبات عضوية مثل التراى كلورو إيثيلين، هذه المواد المسرطنة يمكن أن تلوث المياه الجوفية فى المنطقة التى يستخدم فيها نظام التحليل. كما أنه توجد ملوثات أخرى من خزانات التحليل يمكن أن تصل إلى المياه الجوفية مثل المنظفات الصناعية، النترات، الكلوريدات والتلوث من نظم التحليل موضح فى الشكل (٤/١٥).

حفر الردم للتخلص من المخلفات المنزلية : (Municipal Landfills)

الردم فى التربة هو أحد الطرق العادية للتخلص من المخلفات المنزلية، وهذه تعرف بحفر القمامة حيث يتم وضع المخلفات فوق الأرض وفى المناطق المنخفضة من التربة حيث منسوب المياه الجوفية البعيد، وحيث تتوفر أماكن الحفر التى كانت تستغل كمحاجر لاستغلال الرمل والزلط فى أعمال البناء – ولكن تسرب المياه سواء كانت موجودة مع

المخلفات أو بفعل سقوط الأمطار خلال هذه المخلفات والتى تكون ذات محتوى عالى من المواد العضوية وأملاح النترات والكلوريدات والمعادن الثقيلة يمكنها بسهولة الوصول إلى الخزانات الجوفيه أسفلها واختلاطها بالمياه الجوفيه. الطريقه الحديثة لتكنولوجيا التخلص من القمامة (المخلفات الصلبة) يمكن أن تحقق الحماية للمياه الجوفية من التلوث. أمـــاكن التخلص عادة تسمى حفر الردم (Land Fills) وهذه سيتم مناقشتها فى الفصل (٤).

بالاختصار فإن مكان حفر الردم بالنسبة للحالة الجيولوجية واستخدام مواد التبطــين والتغطية للقاع هما الطريقتان اللذان بهما يمكن حماية المياه الجوفية من التلوث.

مناجم استغلال الخامات الطبيعية وكذلك عمليات إنتاج البترول :

كثير من مناجم استغلال الثروات المعدنية والفحم تسبب تهديدا لنوعية المياه الجوفية. المياه السطحية التى تتدفق قريباً من موقع الاستغلال يمكن أن تلـتقط الأمــلاح المذابــة والمواد الصلبة الأخرى والحموضة والمواد المشعة. ومع تسرب المياه فى التربة إما من الحفر المكشوفة أو فى الإنفاق تحت الأرض فإن المياه يمكنها بــسهولة أن تحمــل هــذه الملوثات إلى الخزانات الجوفية أسفلها. مياه الغسيل للملوثات من أمــاكن تجميــع هــذه الخامات والنفايات يمكن أن تكون كذلك مصدراً لتلوث المياه الجوفية.

كثيراً ما يحدث تلوث للمياه الجوفية من أنشطة عمليات إنتاج البترول وحفظه، فالمواد البترولية يمكنها أن تسرى خلال منطقة التهوية وتصل إلى خط المياه الجوفية. حالياً تــم تطوير خزانات حفظ المواد البترولية لتكون من الصوف الزجاجى المقاوم للتآكل لإبعــاد حالات التسرب هذه.

الإنسكابات العرضية على السطح هى كذلك من مصادر التلوث بالزيت والجــازولين للمياه الجوفية. حتى فى حالة التركيزات المنخفضة جداً، فإن هذه المواد تــسبب مــذاقاً ورائحة ملحوظة فى مياه الشرب التى يتم الحصول عليها من الخزانات الجوفية الملوثــة. بالإضافة إلى أن الجازولين يحتوى على مادة (Ethylene dibromide) وبنــزين، وهــذه يحتمل أن تكون مسرطنة للإنسان.

فى بعض الحالات وفى حالة عدم تسرب تلوث البترول إلى مسافة بعيدة، فإنه يمكن أخذ خطوات لتنظيف المياه، المياه الملوثة يمكن ضخها خارج التربة ثم تمريرها خــلال جهاز فصل الزيت، ثم حقنها ثانياً فى التربة.

الزراعة :

أكبر ملوثات للمياه الجوفية من الأنشطة الزراعية هى الأسمدة والمبيدات الحشرية. ومن بين الأسمدة النترات والفوسفات وهذه لها علاقة بالآثار الصحية الضارة.

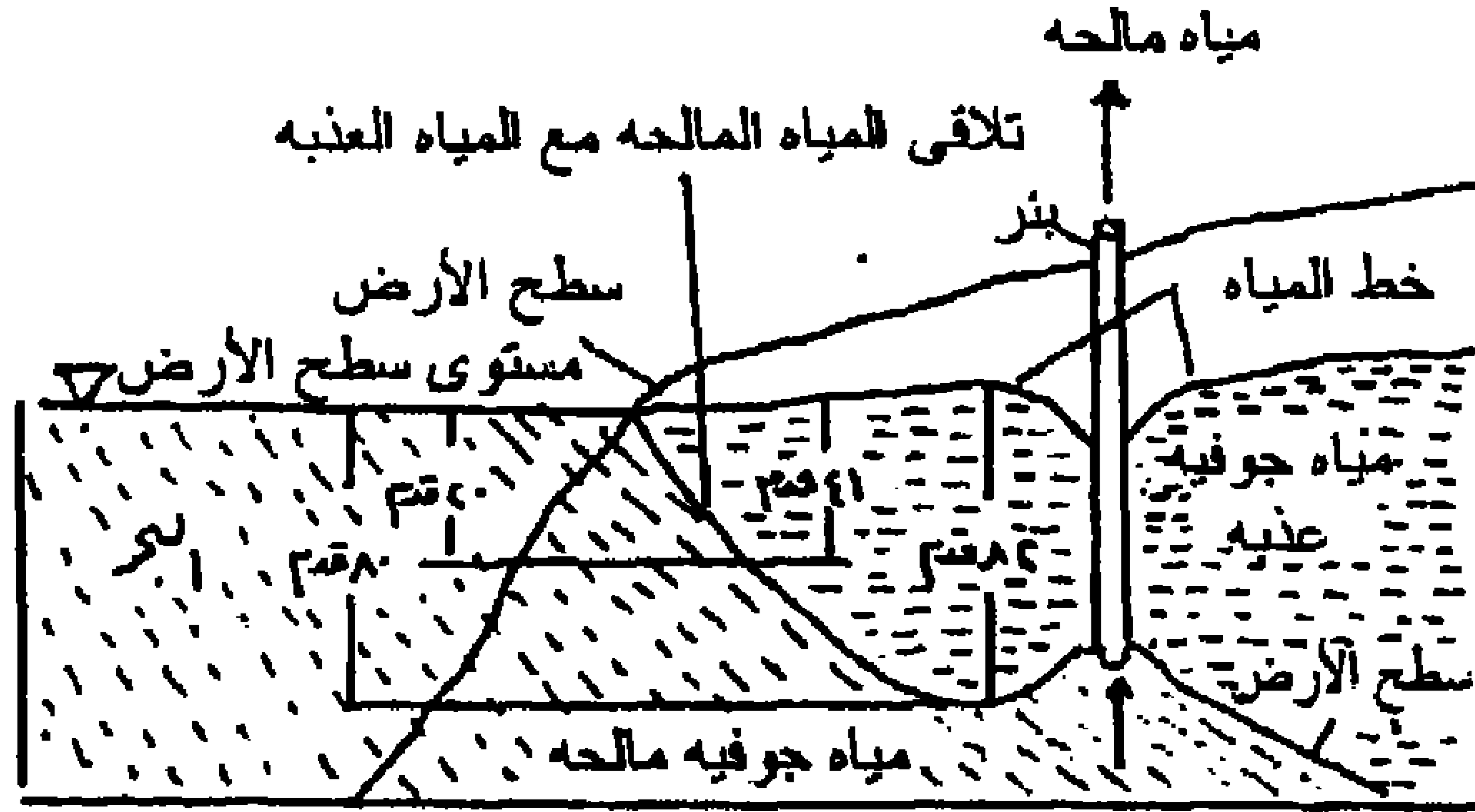
المناطق الحضرية فى دول الشمال :

عادة فى المدن الحضرية فى دول الشمال يتم نشر الملح على الطرق لتصبح خالية من الثلوج أثناء فصل الشتاء، وهذه الأملاح التى تذوب تتحرك فوق الرصف فى تدفقات رقيقة حاملة معها كثيراً من الأملاح التى تحمل إلى الخزانات الجوفية أسفلها بما يزيد من تركيز الأملاح المذابة والكلوريدات فى المياه الجوفية.

دخول المياه المالحة : (Salt Water Intrusion)

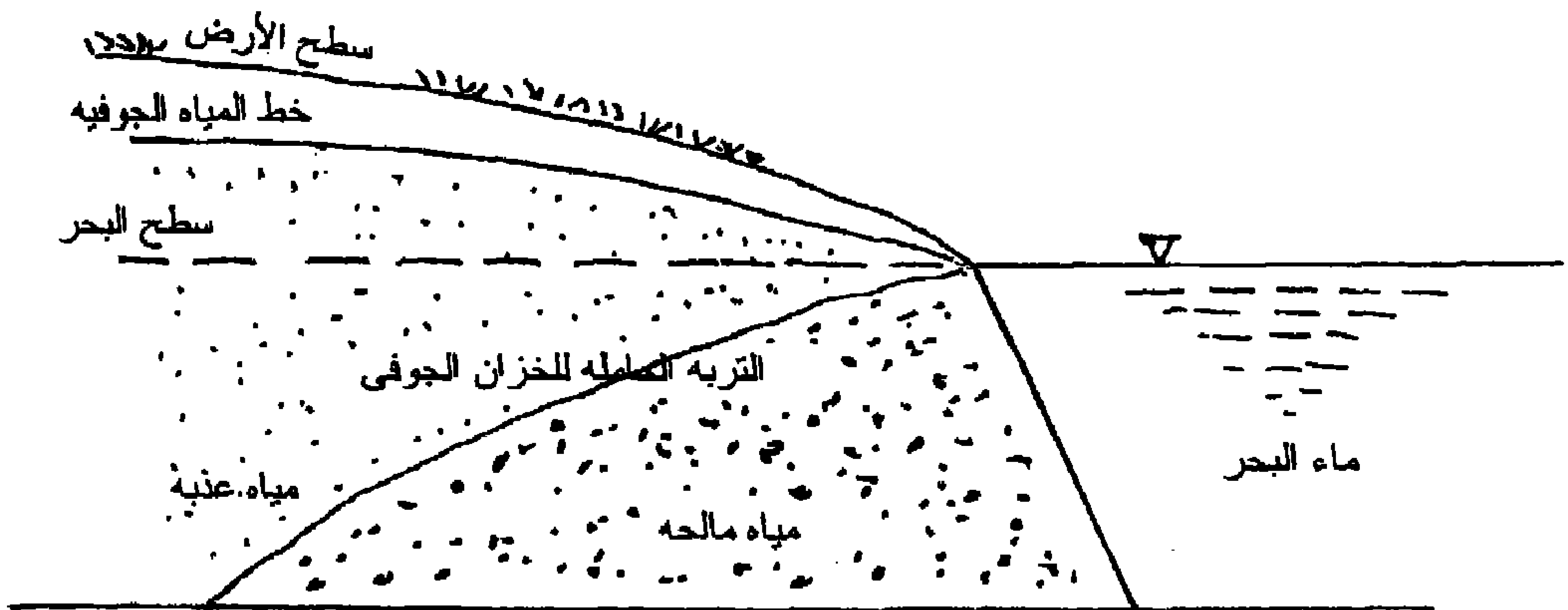
دخول مياه البحر المالحة فى الآبار هو من مشاكل تلوث المياه الجوفية فى كثير من المدن الساحلية. بسبب زيادة الكثافة السكانية وارتفاع مستوى المعيشة والأنشطة الصناعية وزيادة استخدام المياه الجوفية، وكذلك بسبب انخفاض الشحن الطبيعى لتغذية الخزان الجوفى لوجود الطرق ومناطق الانتظار) لذلك فإن مستوى خط المياه الجوفية آخذ فى الانخفاض.

فى المناطق الساحلية يوجد تداخل أو حد بين المياه الجوفية العذبة التى تتدفق من المساحات السطحية والمياه المالحة من البحر. نظراً لأن مياه البحر أكثر كثافة عن المياه العذبة بنسبة ٢,٥%، فإن الضغط الرأسى لمياه البحر الذى قدره ٤٠ قدم يكون مكافئاً لضغط رأسى للمياه العذبة قدرة ٤١ قدم (١/٤٠ = ٠,٠٢٥ = ٢,٥%) نتيجة ذلك، فإن لكل انخفاض فى خط المياه قدره قدم واحد فإن حد مياه البحر يرتفع ٤٠قدم. وهذا موضح فى الشكل (٢/١٦). لذلك فإن الآبار التى تضخ الماء المالح بسبب دخول المياه الجوفية يمكن أن تهجر كمصدر لمياه الشرب. بالإضافة إلى المحافظة على الماء فإن الشحن الجوفى للمياه الجوفية بالمياه العذبة التى يتم حجزها فى خزانات يمكن أن يكون مؤثراً فى الحد من دخول المياه المالحة. سحب المياه العذبة من الخزان الجوفى الساحلى يمكن أن يتم على عمق يساوى ٤٠ ضعف المسافة بين منسوب سطح البحر وخط المياه العذبة (شكل ٢/١٧).



شكل (٢/١٦) تسرب المياه المالحة إلى مناطق آبار المياه الساحلية مصدر كبير لتلوث المياه الجوفية

التنقية الطبيعية للمياه الجوفية الملوثة بالكيماويات يمكن أن تستغرق عقـودا وربمـا قرونا من الزمان، كما أن جهود التنقية تكون أحيانا مكلفة جداً. أفضل طريقة لحماية المياه الجوفية من التلوث هى بمنع وجود هذه الملوثات. القوانين والقرارات المنظمة للـتخلص من المخلفات الصلبة والخطرة يمكن أن تقلل من الملوثات. ليس فقط بالحواجز الطبيعيـة بين المخلفات والمياه الجوفية ولكن يجب إنشاء آبار رصد فى بعـض الحـالات لتـوفير التحذير المبكر عن التسربات المحتملة. فمثلاً، يتم الحد من إقامـة المنـشآت الـصناعية والمناطق السكنية المستخدمة لخزانات التحليل وكذلك الحد من استخدام الأسمدة والمبيدات فى المناطق الزراعية.



شكل (٢/١٧) منسوب السحب من المياه العذبة بين الخزانات الجوفية الساحلية هو ٤٠ ضعف المسافة الرأسية بين خط المياه العذبة ومنسوب سطح البحر

٧- تلوث البحار :

مياه البحر هى مياه مالحة طبيعيا، وهى تحتوى على حوالى من ٢,٥ إلى ٤,٥% مواد صلبة مذابة (من ٥٠٠٠ ملجرام / لتر إلى ٤٥٠٠٠ ملجرام/ لتر) وهذه النسبة من الملوحة أعلا بكثير عن تركيز إجمالى المواد الصلبة التى تحملها مخلفات الصرف الصحى، ولكن لا تعتبر مياه البحر أنها ملوثة وذلك بسبب ملوحتها الطبيعية. المواد الصلبة المذابة فى مياه البحر هى الأملاح المعدنية وأغلبها هو كلوريد الصوديوم. الملوحة تجعل مياه البحر غير مناسبة للاستخدام عدا فى حالة معالجتها بطرق الإعذاب لإزالة الملوحة.

لهذه الأسباب وكذلك بسبب القدرة الكبيرة على التخفيف التى يمكن أن توفرها مياه البحر فإنه كان هناك ميل طبيعى باعتبار أن البحر هو المستقبل المناسب لكل أنواع المخلفات، وغالباً، فإن كل صرف المخلفات الصحية المعالجة فى المجارى السطحية تجد طريقها نحو البحر. وفى مناطق مصبات الأنهار. يلاحظ أن مياه الصرف المعالجة يتم صرفها مباشرة فى البحر.

برغم الحجم الكبير للبيئة البحرية، فإن الطاقة الطبيعية للخلجان والبحار نحو معالجة المخلفات تكون محدودة. من بين سلبيات تلوث البحار هو تدمير الكائنات البحرية، وخاصة الطحالب التى تنتج الأكسجين فى عملية التمثيل الضوئى وتكون غذاءً للكائنات الأخرى. فى بعض الحالات يتم كسح المواد المسببة لعتامة الماء والمواد الخطرة نحو الشاطئ.

مصبات الأنهار هى منطقة انتقال طبيعية بين مياه الأنهار العذبة ومياه البحار المالحة. وهى كتل مائية شبه محصورة شاملة الخلجان، وفتحة المصب للنهر، والسبخات المالحة نظراً لقربها من الأرض فإنها تكون أول المساحات البحرية لاستقبال المخلفات التى تحملها تدفقات النهر. الخلجان تعتبر أهم البيئات ذات المسببات البيولوجية ولها أهمية خاصة لكل من الكائنات الأرضية والبحرية. فليس فقط التلوث هو التهديد لهذه البيئة الحياتية، إلا أن سوء استخدام الأراضى الذى يسمح باستغلال المساحات الأرضية الرطبة بالأنشطة السكانية والتجارية له دور.

يلى الخلجان، حيث المياه الشاطئية الضحلة نسبياً فى البحر المفتوح والتى تكون حوالى ٧٠% من سطح الأرض. نلاحظ أن البحر المفتوح يعتمد كلية على الخلجان

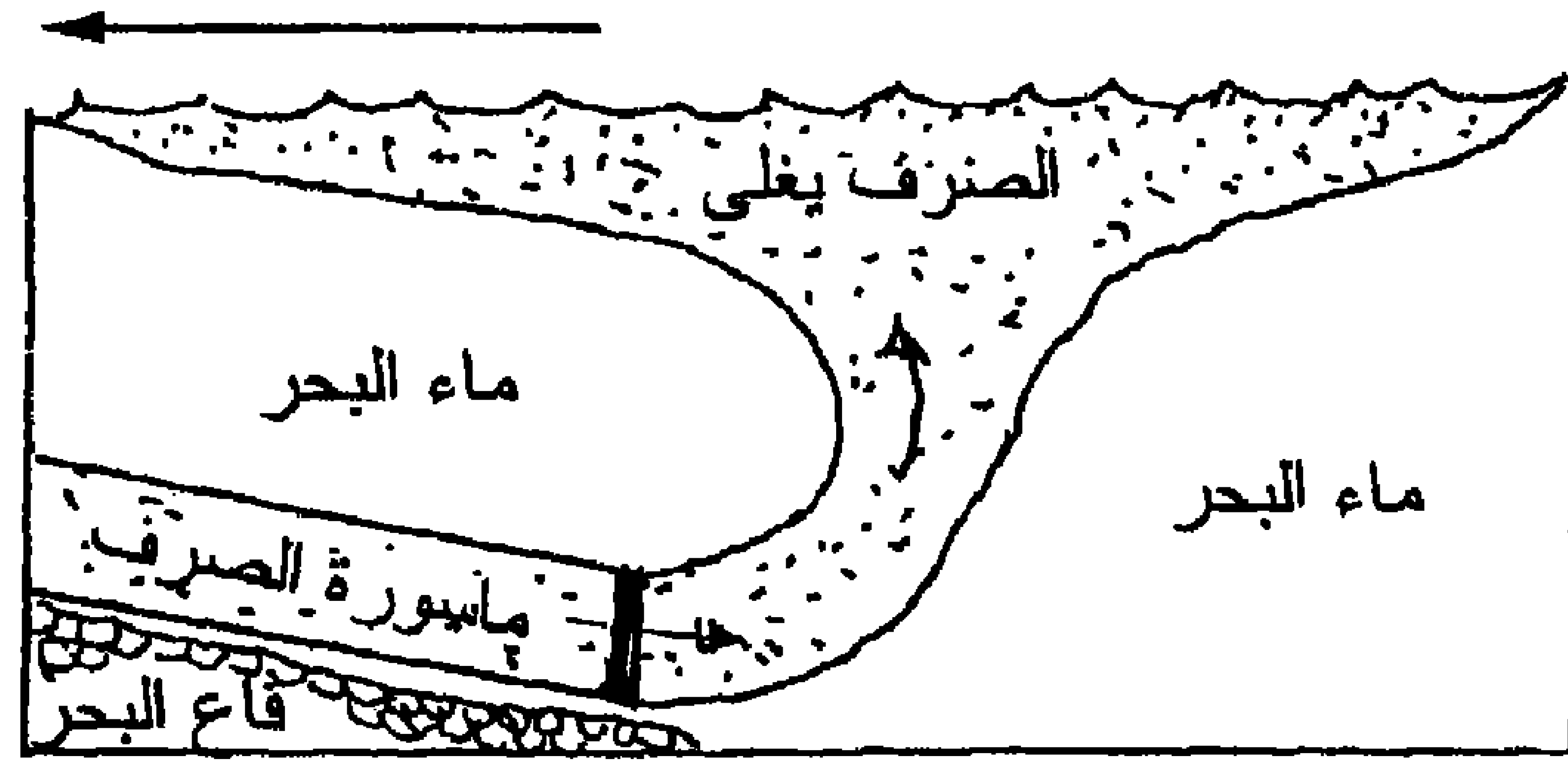
للغذاء، والذى ينقل بالتيارات المائية إلى المياه العميقة، للمساعدة فى استمرار العمليــات الحياتية.

تسرب مياه الصرف الصحى فى مياه البحر :

كثير من المدن الساحلية تقوم بصرف مياه الصرف الصحى المعــالج فــى البحــر. المواسير التى تحمل مياه الصرف المعالج تسمى (Out Falls) أى السقوط الخارجى. وهذه عادة تكون مواسير ذات حجم ضخم والتى يمكن أن تمتد إلى مسافات بعيدة عن الــشاطئ والتى تصل إلى حوالى ١٢ كيلومتراً أو أكثر. وعند خروج مياه الصرف الــصحى مــن مخرج الماسورة، فإنها تكون عاموداً مرتفعا نظراً لأنها أكثر دفئاً وأقل كثافة عــن ميــاه البحر. وهذا موضح فى الشكل (٢/١٨). وعند الوصول إلى السطح فإن عامود الصرف الصحى يكون فقاعة كبيرة أو غليان، والتى تتحرك فى اتجاه التيارات السطحية. مع عمل التيارات لهذه الفقاعة من المخلفات الصحية فإنه تتكون سحابة من مياه الصرف المخففــة تشبه سحابة الدخان المنبعثة من المدخنة. لسوء الحظ فإن هذه السحابة تحمل أحياناً نحــو الشاطئ بما يرفع من عد الكوليفورم قرب مناطق الاستجمام. أحياناً يجب قفل الــشواطئ المستخدمة فى السباحة بسبب زيادة أعداد الكوليفورم.

تأثيرات صرف مخلفات الصرف الصحى فى البحر تتوقف علــى كيفيــة الانتــشار والتشتت الجيد للمخلفات فى البحر عند خروجها من الماسورة. التشتت الكافى للمخلفــات يسهل عملية التنقية الطبيعية، ويقلل من تركيزات البكتريا، بما يقلل مــن التلــوث عنــد المساحات الشاطئية. معظم مخارج مواسير الــصرف حاليــاً تنــشأ بناشــرات متعــددة (Multiport Diffusers) عند نهاية الصرف لتعظيم كمية الانتشار. هذه الناشرات تــوزع السوائل على مساحة كبيرة نسبياً من قاع البحر خلال العديد من الفتحات المستديرة. وهذا يوفر درجة كبيرة جداً من الخلط والتخفيف مقارنة بحالة عدم وجود هذه الناشرات عنــد نهاية ماسورة الصرف. الناشرات تمنع تكون غليان سوائل الصرف كما توفر حماية أكبر للشاطئ.

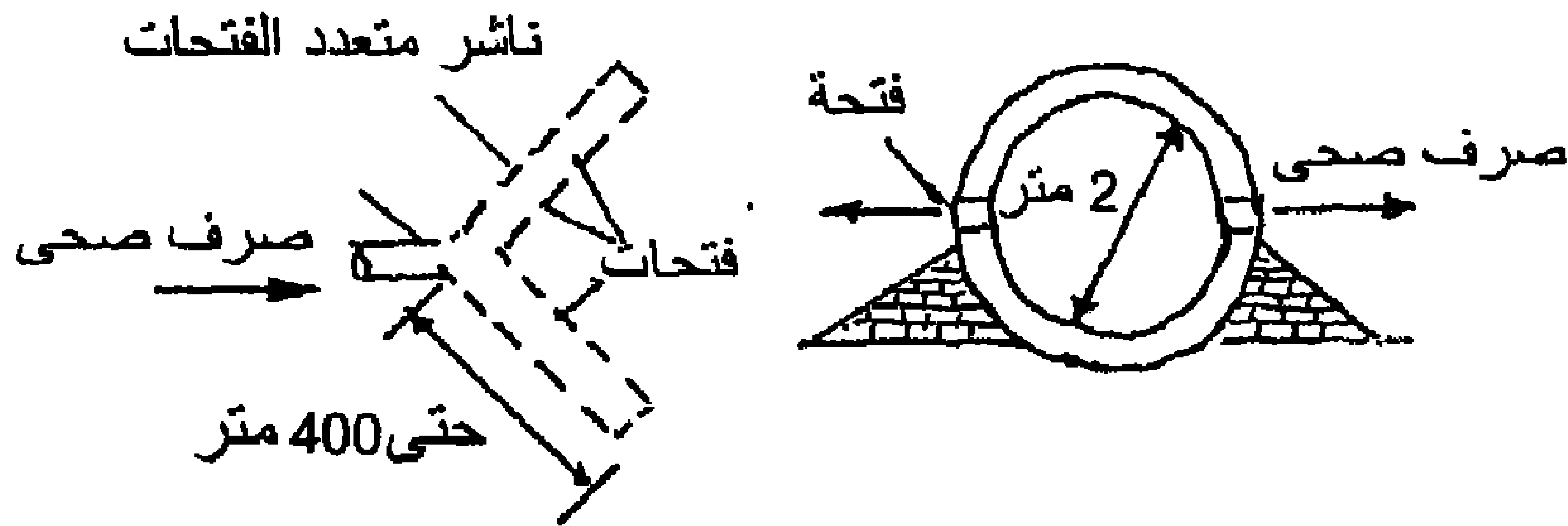
يتوقف نجاح الناشرات فى تنفيذ هذا الغرض على حسابات التــصميم الهيــدروليكى الحذر والمدقق. من المهم تحقيق تجانس التوزيع للتدفق خلال الموانئ. نمــوذج لناشــر مخرج ماسورة الصرف فى البحر موضح فى الشكل (٢/١٩) نموذج للأبعــاد موضــح لمجرد توضيح حجم هذه الإنشاءات.



شكل (٢/١٨) خروج سائل الصرف من الماسورة أسفل قاع البحر

تشكل عاموداً مرتفعا في مياه البحر بسبب انخفاض كثافته.

يصل العامود إلى السطح فى شكل غليان.



شكل (٢/١٩) ناشرات عديدة الفتحات عند نهاية ماسورة الصرف

فى البحر تزيد الخلط والتخفيف لمياه الصرف فى مياه البحر،

وبذا تمنع حدوث وتكون السحابة

إلقاء حمأة الصرف الصحى فى المحيط : (Ocean Dumping of Sludge)

فى الماضى، كثير من المدن الساحلية فى أمريكا وأوربا كانت تلقى بحمأة الصرف الصحى فى المحيط. فمثلاً مدينة نيويورك ولمدة ٦٠ عاماً استخدمت مواقع لإلقاء حمأة الصرف فى المحيط الأطلنطى. كانت هذه المواقع على مساحة حوالى ٢٠كيلومتراً بعيداً عن الشاطئ وكانت بعمق حوالى ٢٥متراً فقط وعلى مساحة حوالى ٣٦ كيلومتراً مربع، وإن كانت كمية إلقاء الحمأة انخفضت فى عام ١٩٨٤ إلى حوالى ٨ مليون طن فقط. وقد وجد أن هذه المساحة من المحيط بها مستوى عالى من البكتريا وكذلك الحياة البحرية الطبيعية معدومة تماماً وأحياناً كانت تيارات المحيط تحمل الحمأة نحو الشاطئ.

في عام ١٩٨٥ قررت وكالة حماية البيئة (EPA) أن يتم التخلص من الحمأة على مساحة حوالى ١٧٥ كيلومتراً من الشاطئ وعلى مساحة حوالى ٢٥٠ كيلومتراً مربعاً وعلى عمق ٢٥٠٠ متراً، حيث استمر هذا الوضع حتى عام ١٩٩٢، ثم تم إيقاف إلقاء المخلفات كلية فى البحر، وتم نقل هذه المخلفات بالسكك الحديدية إلى أماكن بعيدة (تكساس) لحين بناء نظم تحويل الحمأة إلى مواد سمادية طبيعية.

إنسكابات الزيت : (Oil Spills)

الانسكابات الغير متعمدة للزيت يمكن أن تسبب تلوث شديد لمياه البحر. يمكن دخول الزيت إلى مياه البحر أساساً من انسكابات السفن ناقلات البترول أو من التدفقات الخارجة من الآبار البحرية. انسكابات الزيت يمكن أن تسبب موت الطيور التى تعيش على سطح الماء وتغطس لتحصل على غذائها. ملوثات الزيت عادة تدفع نحو الأرض بفعل عوامل الرياح والمد والجزر. تلوث الزيت على الشاطئ ضار لكل أشكال الأحياء المائية ويعيق الاستخدامات الترويحية والسياحة للمساحات الشاطئية. في بعض الحالات أمكن استخدام حواجز طبيعية للحد من انتشار طبقة الزيت، وكذلك الوسائل الميكانيكية لجمع الزيت المسكوب مع درجات مختلفة من التأثيرات. المنظفات الصناعية يمكن استخدامها لتكسير طبقة الزيت ولكن هذه المنظفات الصناعية يمكن أن تكون سامة للأحياء البحرية.

أفضل طريقة للحد من الانسكابات للزيت هو بالمنع من المنبع، حيث يلزم توفير التصميمات المدققة لناقلات الزيت لخفض الانسكابات. وبالمثل الإجراءات الحازمة لتأمين والتصريح والكشف ورصد عمليات الحفر داخل البحر يمكن أن تحقق حماية البيئة البحرية.

٨- معايير نوعية المياه : (Water Quality Standards)

فى المناطق السكنية والصناعية فى أيامنا هذه، يكون من الضرورى وضع قوانين ملزمة لحماية نوعية المياه. للمحافظة على نظافة المياه للاستخدامات المختلفة التى تحتاجها المجتمعات فإن ذلك يتطلب جهودا ضخمة واستثمارات كبيرة. وبدون إطار قانونى لتفعيل المعايير القياسية لنوعية المياه فإن نوعية البيئة والصحة العامة سوف تكون فى خطر دائم.

المعايير القياسية لنوعية المياه هى حدود الملوثات المسموح بها فى الماء لاستخدامات معينة سواء كانت هذه الملوثات طبيعية أو كيماوية أو بيولوجية. توجد ثلاثة أنواع من المعايير القياسية لنوعية المياه، وهى :

معايير المجارى المائية، ومعايير مياه الصرف، ومعايير مياه الشرب. العلاقة بين هذه المعايير الثلاثة موضحة فى المخطط الشكل (٢/٢٠).

وهذه معاً تقوى بعضها بعضاً وتعطى كل أساسيات الحماية الكلية للصحة العامة ونوعية البيئة. فى هذا الفصل سيتم مناقشة معايير المجرى المائى وبالنسبة لمعايير مياه الشرب وصرف المخلفات سيتم تناولهما فى الفصل السابع (الملاحق).

المعايير القياسية للمجرى المائى :

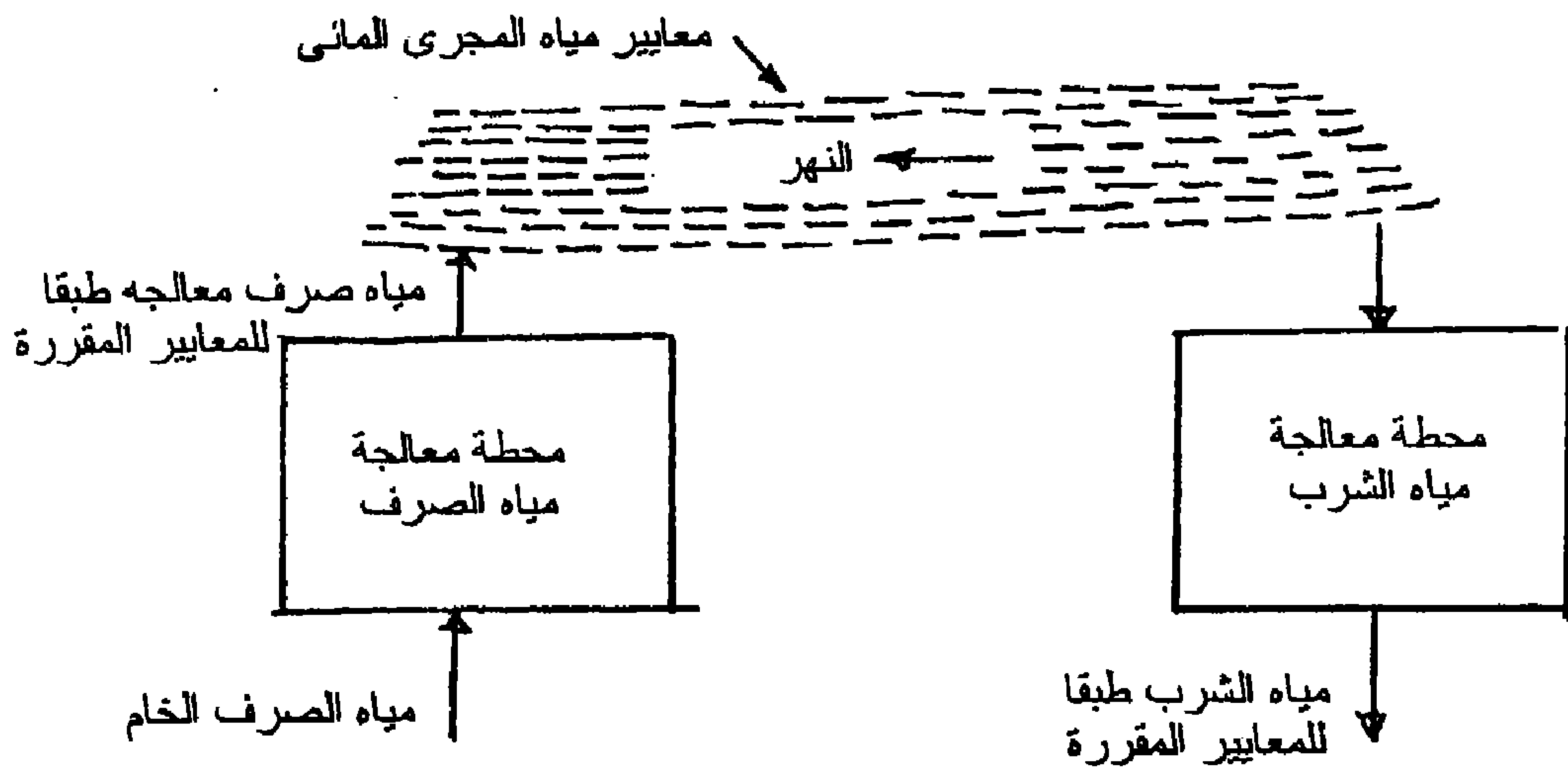
عموماً توجد أربعة مستويات من تقسيمات نوعية المياه وهى كالآتى :

	الوصف
A	المياه المناسبة للالتصاق عند الاستحمام (السباحة..الخ).
B	المياه المناسبة لاستمرار برنامج صيد الأسماك والكائنات البحرية وذات الدرجة الثانية من الالتصاق للاستجمام.
C	المياه المناسبة للإمدادات المياه المنزلية بعد المعالجة والتنقية.
D	المياه المناسبة للاستخدامات الزراعية والصناعية.

معايير نوعية المياه الحقيقية لأنواع مختلف الاستخدامات عادة تشمل الحدود المسموح بها للأكسجين المذاب، الكوليفورم، المواد الصلبة، العكارة، الرقم الهيدروجينى، والمخلفات السامة. فمثلاً، أدنى أكسجين مذاب ٥ ملجرام/ لتر يناسب استمرار حياة الأسماك، ولكن أدنى أكسجين مذاب ٣ ملجرام/ لتر قد يكون مطلوباً لمياه التقسيم (D). المجارى المائية التى يلزم حمايتها لتكون مجالاً جيداً لعيش أسماك السلمون يلزمها أكسجين مذاب لا يقل عن ٨ملجرم/لتر.

معايير الكوليفورم للتقسيم (A) يمكن أن تكون ٢٠٠ كلوليفورم غائطى فى ١٠٠سم٣ فى حالة المياه السطحية المستخدمة لإمدادات المياه يمكن أن يكون مستوى الكوليفورم الغائطى حتى ٢٠٠٠ فى ١٠٠سم٣، عشرة أضعاف المستوى فى مياه الاستحمام. يجب ملاحظة أن هذه المعايير هى للمياه العكرة أو الخام الغير معالجة. وأن المياه السطحية يلزم معالجتها قبل الاستهلاك، كما أن محطات معالجة المياه يمكنها خفض المحتوى من الكوليفورم إلى أقل من واحد كوليفورم فى ١٠٠سم٣، حتى لو كانت المياه تحتوى أصلاً على ٢٠٠٠ فى كل ١٠٠سم٣.

على الجانب الآخر فإن السباحين عادة لا يقومون بشرب الماء بكميات كبيرة، حتـى عند مستوى ٢٠٠ كوليفورم فى ١٠٠سم[٣] فإن احتمال انتقال المرض يكون ضعيفا جـداً. المستويات المتوسطة من الكوليفورم تكون مقبولة فى مياه الالتصاق الأولى للاسـتجمام. من الطبيعى أن يكون المصدر محتواه من الكوليفورم أقل ما يمكن وذلك لعدم زيادة الحمل على عمليات المعالجة. وأن ما يهدد نوعية المياه هو مخلفات الصرف الصحى والصرف الصناعى ومياه الصرف الزراعى المحملة بالمبيدات والأسمدة وما تحمله ميـاه الرشـح والرياح من أتربة ومواد التربة الطينية.



شكل (٢/٢٠) معايير نوعية المياه الثلاثة

الفصل الثالث
الهيدرولوجى وحصد مياه الأمطار والسيول

الهيدرولوجى هو فرع من علوم الأرض المتعلقة بتوزيع وحركة المياه على سطح الأرض وتحت سطح الأرض. علم الهيدرولوجى له أهمية كبيرة فى تكنولوجيا البيئة لأسباب كثيرة. الحالات الهيدرولوجية المتباعدة (Extreme) مثل حالة الجفاف حيث لا تتوفر المياه المطلوبة وحالة الفيض حيث المياه بوفرة كثيرة فى المكان الغير مناسب، وهما من الحالات المعروفة المسببة للمشاكل البيئية. ولكن الجفاف والفيض ليسا فقط الاعتبارات الهيدرولوجية الهامة. وعموماً، يجب تقدير وجود وكمية المياه وذلك للتخطيط والتصميم لنظم الإمدادا بالمياه والحماية من التلوث وطرق إدارة وحصد مياه الأمطار والسيول.

١- توفر المياه واستخداماتها :

الماء كما هو معروف أساسى لاستمرار الحياة. ويعتمد الإنسان على المياه بالإضافة للشرب والاستخدام المنزلى، حيث تستخدم كميات كبيرة فى المجالات الصناعية والزراعية، توليد الطاقة، المزارع السمكية والنقل.

استخدام المياه يعنى به سحب المياه من مصدرها والذى يمكن أن يكون نهر أو بحيرة أو بئر ونقل هذه المياه إلى مكان معين. فمثلاً المياه المستخدمة فى أغراض التبريد فى محطة توليد الطاقة يمكن سحبها من مجرى مائى قريب، حيث تمر خلال محطة توليد الطاقة، ثم تصرف ثانياً فى المجرى المائى بدون الفقد فى كمياتها. (يتم تبريد المياه قبل صرفها لمنع حدوث التلوث الحرارى). من أمثلة الاستخدامات للمياه هى عملية النقل والاستجمام. لذلك فإنه يلزم التفرقة بين استخدامات المياه واستهلاك المياه، حيث أنالمياه المستخدمة فى الشرب أو التى تتحد مع أحد المنتجات والتى لا يمكن إعادة استخدامها مباشرة هى المياه المستهلكة.

والمياه توجد بكميات وفيرة فوق سطح الأرض وتحت سطح الأرض، ولكن أقل من ١% فقط من هذه المياه هو المتاح للاستخدام الاقتصادى للمتطلبات التى سبق ذكرها، ذلك لأن معظم المياه هى إما مياه مالحة أو مياه متجمدة فى الجبال الجليدية.

وكثير من المياه العذبة فى الأنهار والبحيرات يحدث بها تلوث كبير حيث أصبحت غير مناسبة للاستخدام فى إمدادات المياه للشرب والاستخدام المنزلى.

توزيع المياه :

بالإضافة إلى محدودية المياه فإنه توجد مشكلة أساسية أخرى فى مجال إدارة الموارد المائية وهي أن المياه ليست موزعة جغرافيا بانتظام. فى بعض المناطق توجد المياه الصالحة للاستخدام بوفرة نتيجة غزارة الأمطار والبرد، والندى، حيث يكون المتاح للاستخدام من هذه المياه هو الثلث فى المتوسط والذى يذهب إلى الأنهار والبحيرات والخزانات الجوفية. ولكن تندر المياه، حيث يقل هطول الأمطار.

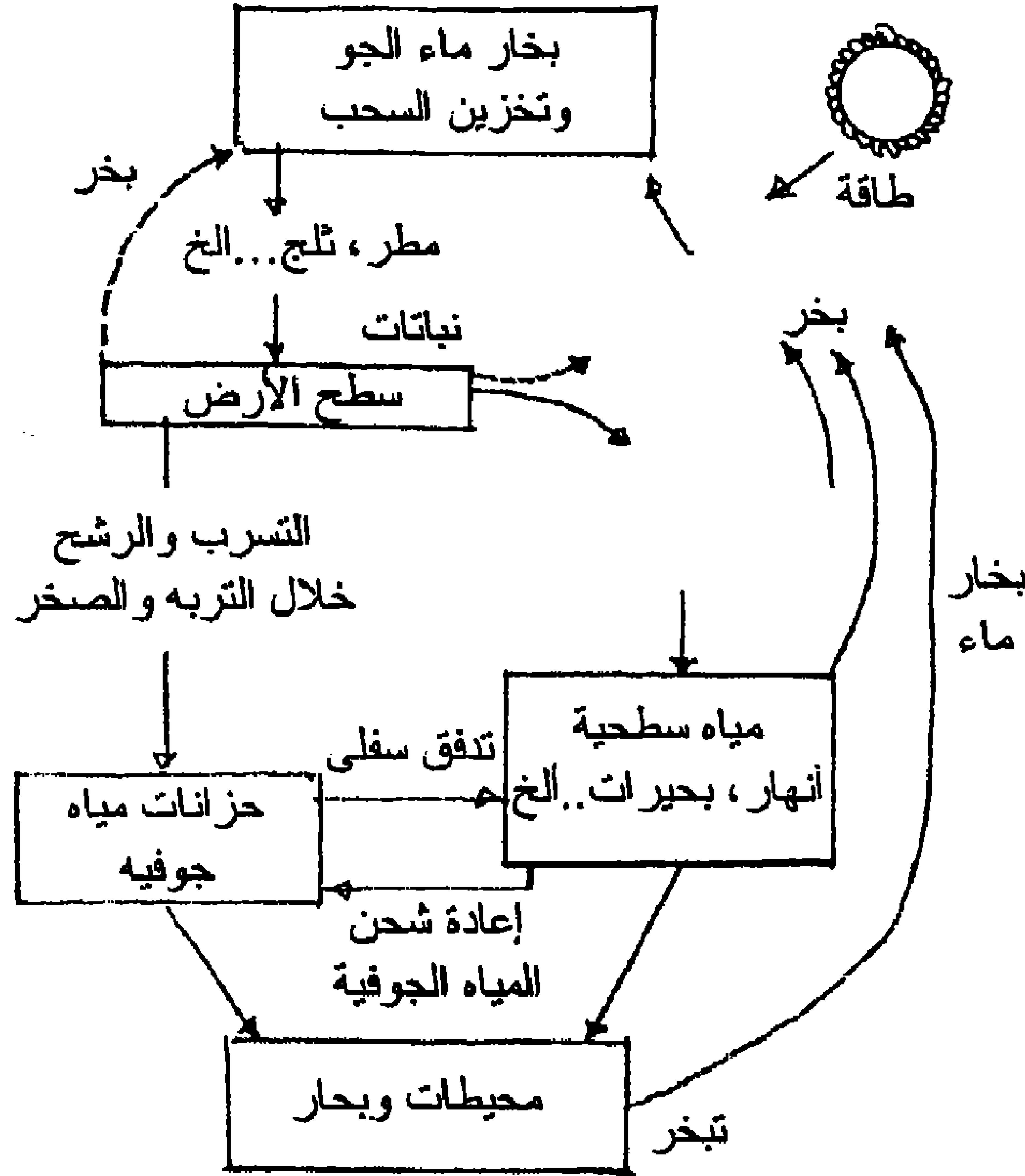
وكمية سقوط الأمطار ووفرة المياه يمكن أن تختلف كثيراً حتى فى المساحة الصغيرة. التوزيع الغير متجانس للمياه من مكان جغرافى معين إلى مكان آخر هو أحد مشاكل إدارة الموارد المائية. كذلك فإن حدوث الجفاف وتوفر المياه يتغير من وقت إلى آخر. فى أى مكان معين قد تكون هناك فترات زمنية ذات مستوى منخفض من سقوط الأمطار أو حدوث حالة الجفاف. حيث تكون النتيجة ندرة حادة فى المياه حيث اللجوء لاستخدام المتاح من المياه فى الخزانات أثناء هذه الفترات.

وعلى الجانب الآخر فإن نفس المنطقة يمكن أن يزداد فيها سقوط الأمطار بغزارة، والذى ينتج عنه مشاكل فيضان خطيرة والتى قد يصاحبها فقد فى الأرواح والممتلكات بالإضافة إلى التلوث البيئي. ولذلك فإنه فى أى مكان معين يمكن أن يكون هناك مياه كثيرة جداً أو قليلة جداً طبقاً للظروف المناخية الطبيعية.

٢- الدورة الهيدروليجية : (Hydrologic Cycle)

المياه في حركة مستمرة على وأسفل وفوق سطح الأرض. حتى فيما يبدو أنها مياه راكدة (كما فى البرك) فإن الماء يتبخر حيث يتحول إلى البخار ويتحرك فى الغلاف الجوى. بسبب الطاقة المكتسبة من الشمس وطاقة الجاذبية فإنه يوجد دائماً دوران مستمر للماء ولبخار الماء. هذه العملية الطبيعية تسمى الدورة الهيدرولوجية، وهى موضحة فى شكل تخطيطى فى الشكل (٣/١) رغم أن الدورة الهيدرولوجية تبدو بسيطة، إلا أنه هناك الكثير نحوها أكثر مما تقع عليه العين. علماء الهيدرولوجى قاموا بدراسات معقدة فى مجال الإحصاء والرياضيات العالية بهدف أساسى وهو قياس وتحليل العلاقات التى تتحكم

في شكل وكمية وتوزيع المياه. عند تفهم هذه العلاقات، فإنه يمكن تفهم التنبؤات المحتملة المتعلقة بما يحدث من أمطار أو جفاف.



شكل (٣/١) مخطط للدورة الهيدرولوجية الطبيعية.

الدوران المستمر للماء يكون بفعل طاقة الشمس والجاذبية.

تحدث الأمطار عند برودة (بخار الماء) الرطوبة الجوية وتكثفها فى شكل نقاط من الماء. هذه الترسيبات من مياه الأمطار يمكن أن تسلك ثلاث طرق مختلفة بعد وصولها إلى الأرض. بعض منها يمكن أن يحتجز بالزراعات أو بعض المنخفضات السطحية. بمعنى آخر فإنها تلتصق مؤقتاً على أسطح الأوراق والحشائش أو تحتجز فى البرك. والبعض الآخر يتسرب إلى جوف الأرض من خلال سطح التربة. الجزء الأخير من الماء يمكن أن يتدفق فوق سطح الأرض. القياس والتوقعات للكميات النسبية من الماء التى تتبع أى من هذه الطرق أو المسارات يعتبر من المسائل الهامةفى علم الهيدرولوجى.

بعض المياه التى يتم اعتراضها تتبخر فى الحال وبعضها تمتصه النباتات، فى عملية تسمى النتح أو الإرتشاح (Transpiration) عند استخدام المياه بواسطة النبات ومروره

خلال الأوراق للحشائش والنباتات والأشجار وعودته إلى الجو فى صورة بخار. العملية المشتركة للبخر والنتح تسمى (Evapotranspiration). عموماً أكثر من نصف ترسيبات الأمطار التى تصل إلى الأرض تعود إلى الجو ثانية بهذه العملية قبل الوصول إلى البحار والمحيطات.

التدفق السطحى يحدث عندما يزداد معدل هطول المطر عن المعدلات المشتركة لكل من التسرب داخل التربة والعملية المشتركة للبخر والنتح. طبيعى فإن التدفق على سطح الأرض يجد طريقه إلى قنوات المجارى المائية، الأنهار، البحيرات، وأخيراً إلى البحار والمحيطات، حيث تعتبر الأنهار والمحيطات هى نهاية المطاف لتدفقات المياه، كما سبق توضيحه حيث يصل حوالى ثلث الأمطار السنوية إلى المجارى المائية والأنهار، ولكن هذا يختلف من منطقة إلى أخرى.

المياه التى تتسرب من سطح التربة تستمر فى التسرب خلال التربة المشبعة وطبقات الصخر المسامى، مكونة خزانات ضخمة للمياه الجوفية. الخزان الجوفى ليس بحيرة تحت الأرض، حيث الماء يملأ المسام الصغيرة أو الفراغات بين حبيبات التربة والشقوق فى الصخر وهذا الذى يسمى الخزان الجوفى (Aquifer). المياه الجوفية يمكن بعد ذلك أن تتسرب إلى أعلا على سطح الأرض فى العيون أو فى المجارى المائية (تدفق المياه الجوفية نحو المجارى المائية يعرف بتدفق القاعدة (Base Flow) والذى يمكن أن يكون المصدر الوحيد لتدفق المصدر أثناء فترات الجفاف). طبيعى تجد المياه الجوفية طريقها نحو البحار والمحيطات إما مباشرة أو من خلال المجارى السطحية. البخر من أسطح البحار والمحيطات يزيد من بخار الماء فى الجو بدرجة كبيرة، حيث تحمل الرياح الهواء المحمل بالبخار فوق الأرض، وتستمر الدورة الهيدرولوجية.

الدورة الهيدرولوجية الحضرية (Urban Hydroglogical Cycle) شكل (٣/٢) فى المجتمعات يوجد تدوير مستمر للمياه، حيث تسحب المياه من مصادرها فى الدورة الهيدرولوجية الطبيعية - من المياه السطحية أو من المياه الجوفية حيث تضخ إلى نظم المعالجة والتوزيع. بعد الاستخدام، يتم تجميع مياه الصرف فى شبكة الصرف حيث تعالج لخفض تأثير الملوثات ثم الصرف ثانياً على المسطحات المائية أو فى الخزان الجوفى.

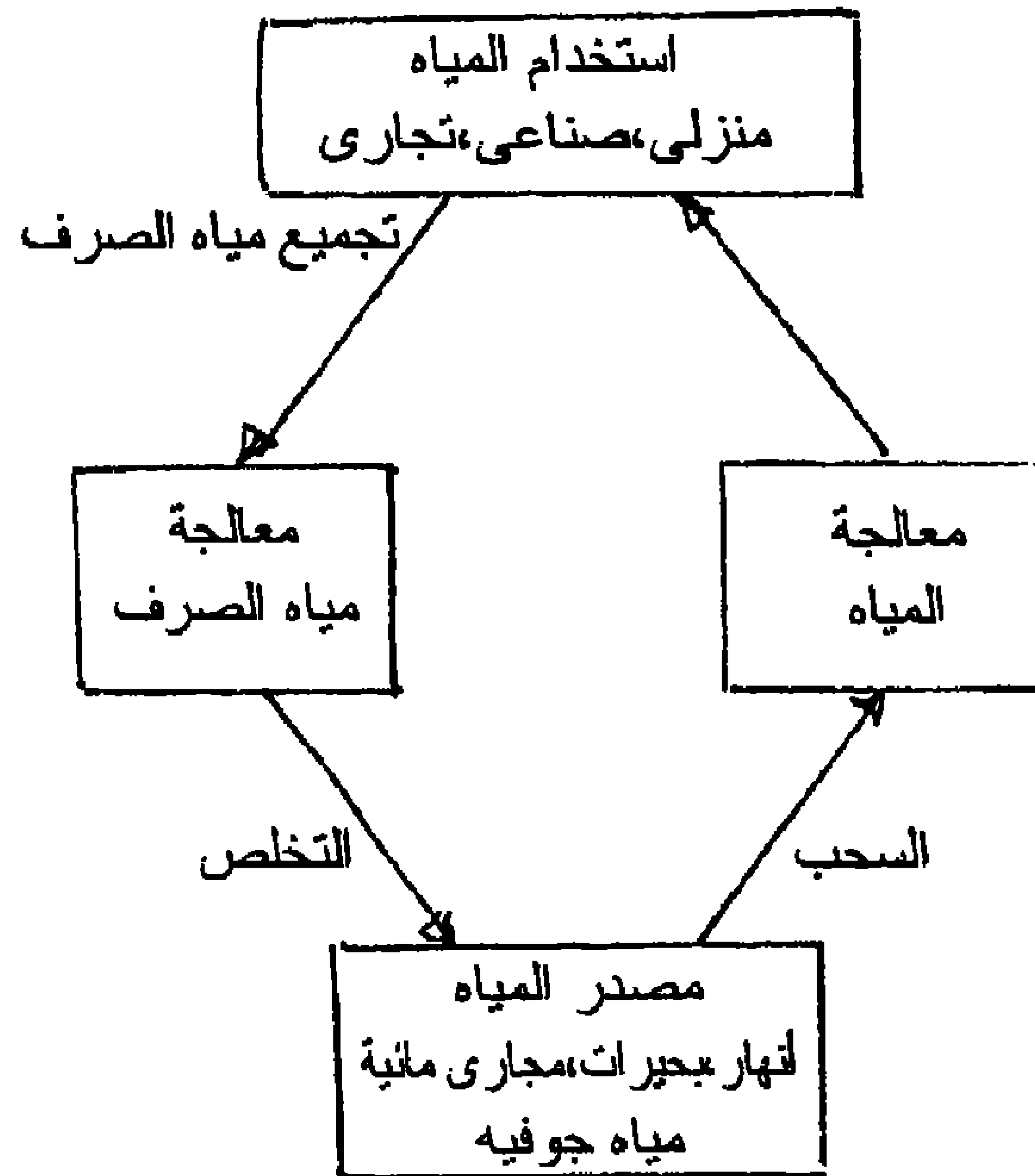
٣- سقوط الأمطار :

الماء فى المجارى المائية والبحيرات وكذلك المياه الجوفية هو باقى الترسيبات. إنه من المهم والضرورى التعرف على بيانات سقوط الأمطار وتسجيلها وذلك لتقدير كمية

الماء التي سوف تكون فوق سطح الأرض أو أسفل سطح الأرض. عوامل أخرى مثل طبوغرافية الأرض واستعمالات الأراضى لها دور فى العلاقة بين سقوط الأمطار وتوفير المياه.

العمق، الحجم، الكثافة: (Depth, Volume, Intensity).

تجميع بيانات سقوط الأمطار هو مسئولية مصلحة الأرصاد الجوية حيث تتوفر محطات قياس الأمطار خلال حدود الدولة. يعبر عن كميات سقوط الأمطار بعمق المياه المتراكمة فى مقياس الأمطار أثناء سقوطها. يمكن التعبير عن الوحدات بالمليمترات أو بالبوصات. إنه عادة يكون من الضرورى حساب متوسطات الأوزان لكميات سقوط المطر على إقليم معين باستخدام البيانات من عدة قياسات للأمطار (Rain Gauges). هذه البيانات يمكن وزنها بالنسبة للمساحة التى يغطيها كل قياس.



شكل (٢/٣) الدورة الهيدروليكية فى المجتمع الحضرى

أحيانا يكون من الضرورى حساب الحجم الكلى للمياه التى تسقط على مساحة أثناء عاصفة سقوط الأمطار. يتم حساب الحجم بضرب المساحة الكلية للأرض بعمق سقوط الأمطار، كالآتى :

الحجم = العمق × المساحة.

فى الوحدات المترية يعبر عن الحجم عادة بالمتر المكعب، ولكن عمق سقوط الأمطار يعبر عنه بالمليمترات، لذلك فإن المساحة يجب تحويلها إلى الأمتار المربعة وعمق سقوط الأمطار يتم تحويله إلى الأمتار. المساحات الكبيرة نسبياً التى يعبر عنها بالهكتارات يجب تحويلها أولا إلى الأمتار الكلية.

مثال :

أثناء سقوط الأمطار لمدة ٢٠ دقيقة، كان عمق سقوط الأمطار الذى يتم تسجيله هو ٢٥ مليمتر على مساحة ٢,٥ هكتار، احسب الحجم الكلى للماء الذى سقط على هذه المساحة أثناء عاصفة سقوط الأمطار.

الحل :

يتم أولا تحويل أعماق سقوط الأمطار من المليمترات إلى الأمتار

٢٥ مليمتر × (١ متر / ١٠٠٠ مليمتر) = ٠,٠٢٥ متر

ثم تحويل الهكتارات إلى أمتار مربعة.

٢,٥ هكتار = ٢,٥ × ١٠٠٠٠ = ٢٥٠٠٠ متر مربع.

باستخدام المعادلة الحجم = المساحة × العمق.

∴ الحجم = ٢٥٠٠٠م٢ × ٠,٠٢٥ متر = ٦٢٥ متر مكعب.

= حوالى ٦٣٠م٣.

عادة الأكثر أهمية عن الحجم الكلى للأمطار هو المعدل الذى تسقط به الأمطار، والذى يسمى كثافة سقوط الأمطار (Rain Fall Intensity) . كثافة سقوط الأمطار يعبر عنها بالعمق فى وحدة الزمن مثل بوصة فى الساعة، مليمتر فى الدقيقة أو مليمتر فى الساعة. مصلحة الأرصاد الجوية تجمع هذا النوع من البيانات باستخدام أجهزة تسجيل المطر الآلية التى تسجل الفترة الزمنية لسقوط الأمطار وكذلك العمق. التسجيل المستمر لكمية سقوط الأمطار وكثافتها يتم توقيعه على أسطوانة دوارة. يلاحظ عادة أن فترات هطول المطر القصيرة تكون ذات كثافة سقوط أعلى مقارنة بفترة السقوط الطويلة.

مثال :

من المثال السابق احسب كثافة سقوط الأمطار.

الحل :

فى حالة استمرار الأمطار لمدة ٢٠ دقيقة، فإنه يمكن حساب كثافتها بالمليمتر فى الساعة.

$$\text{الكثافة} = \frac{\text{٢٥ مليمتر}}{\text{٢٠ دقيقة}} \times \frac{\text{٦٠ دقيقة}}{\text{ساعة}} = \text{٧٥ مليمتر فى الساعة}$$

تستخدام وحدات القدم المكعب الأمريكية للحجم، ولكن فى التطبيقات الهيدرولوجية فإن الأحجام الضخمة من المياه يعبر عنها عادة بالفدان = قدم (Acre-Ft). وهو كما هو موضح فى الشكل (٣/٣) أنه الحجم المطلوب لتغطية فدان من الأرض بعمق ١ قدم. نظراً لأن الفدان يساوى (الفدان يساوى ٤٨٤٠ ياردة مربعة أو ٠,٤٠٤٦ من الهكتار) ٤٣٥٦٠ قدم مربع × واحد قدم أو ٤٣٥٦٠ قدم كعب (٣٢٩٥٠ جالون).

مثال :

أثناء عاصفة سقوط الأمطار كان سمك سقوط الأمطار ٤ بوصة على مساحة ١٢٠ فدان. الفترة الزمنية للعاصفة كانت ٨ ساعة. ماذا كان متوسط سقوط الأمطار؟ عين الحجم الكلى لسقوط الأمطار على المساحة فى ٨ ساعات. عبر عن الحل بالفدان – قدم وبالقدم المكعب.

الحل :

يتم تعيين الكثافة المتوسطة بقسمة العمق الكلى للأمطار على الفترة الزمنية لسقوط الأمطار كالآتى :

$$\text{الكثافة} = \frac{\text{٤ بوصة}}{\text{٨ ساعة}} = \text{٠,٠٥ بوصة فى الساعة}$$

العمق يتم التعبير عنه بالقدم. يمكن عمل الحساب كالآتى :

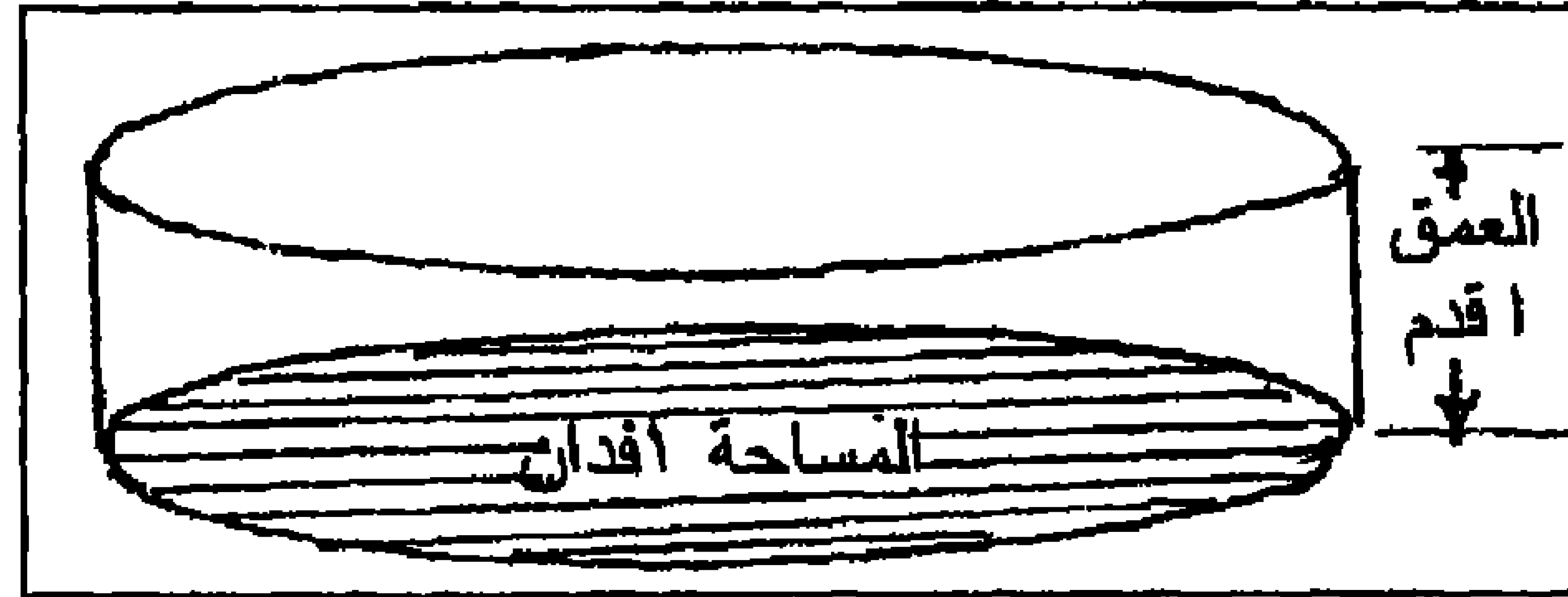
الحجم = ١٢٠ فدان × ٤ بوصة × ١ قدم / ١٢ بوصة.

= ٤٠ فدان – قدم.

للتحويل من فدان – قدم إلى قدم مكعب يستخدم

الحجم = ٤٠ فدان – قدم × ٤٣٥٦٠ قدم مكعب/ فدان – قدم

= ١٧٠٠٠٠٠ قدم مكعب.



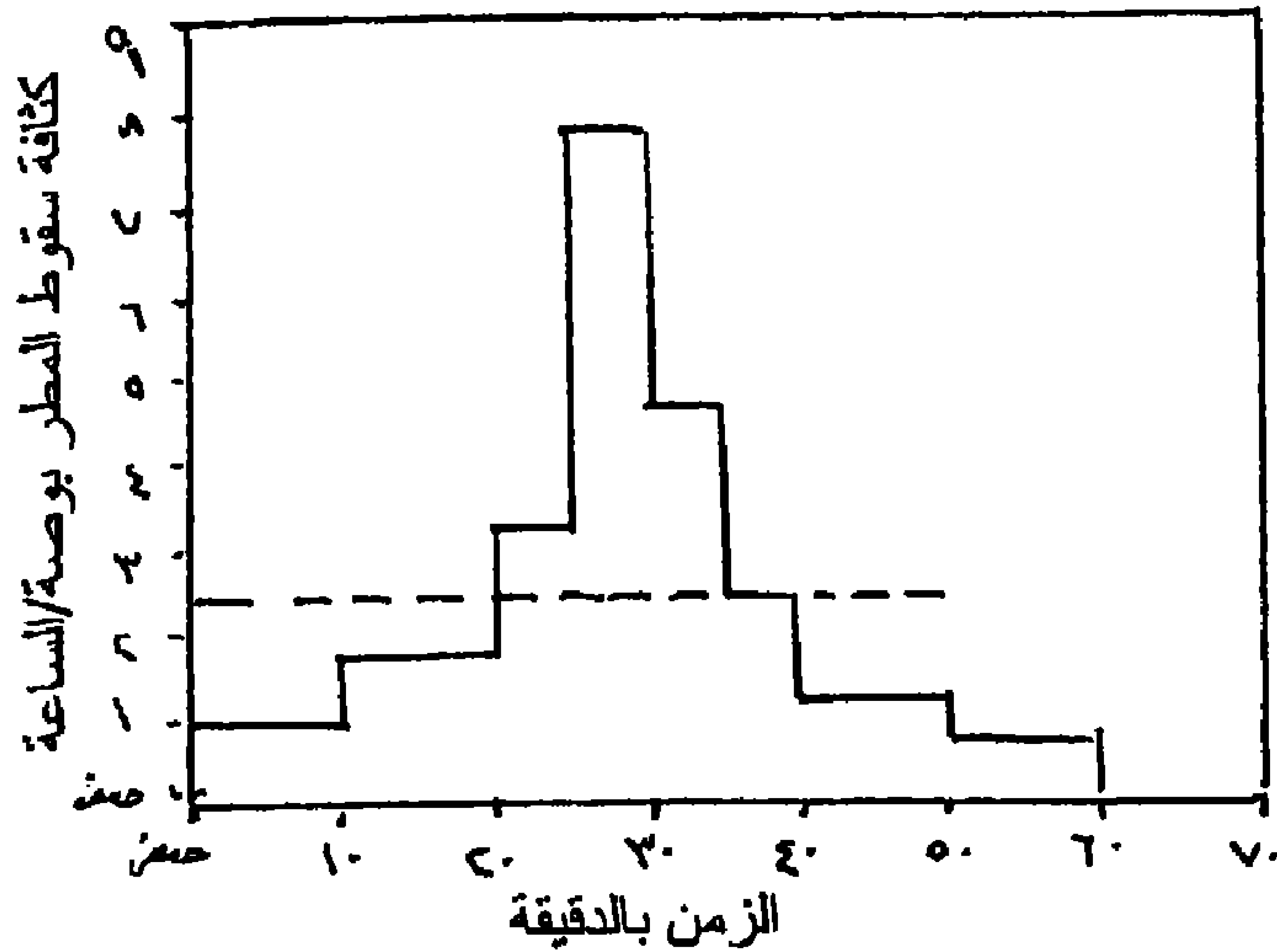
شكل (٣/٣) فدان واحد – قدم من الماء يعادل الحجم الذى يغطى مساحة فدان من الأرض وبعمق واحد قدم أو ٤٣٥٦٠ قدم مكعب.

ومن المهم اعتبار أن كثافة سقوط الأمطار ليست مستمرة خلال فترة السقوط، رغم أن متوسط الكثافة هو رقم مفيد جداً فى كثير من المسائل الهيدروليكية وتطبيقاتها. فى بعض التحاليل الهيدروليكية يكون من الضرورى الحصول على معلومات تفصيلية أكثر عن كثافة سقوط الأمطار. هذه البيانات يمكن توقيعها على المخطط الذى يوضح كثافة سقوط الأمطار (أو الحجم) مقابل الوقت. مثال لهذا المخطط موضح فى الشكل (٣/٤). لاحظ أن متوسط كثافة سقوطالأمطار خلال فترة زمنية ٦٠ دقيقة هو حوالى ٢,٢ بوصة/ الساعة، بينما ذروة الكثافة هى ٨ بوصة/ الساعة.

فترة التكرار : (Recurrence Interval)

أظهرت الخبرة العادية أن الحالات الهيدرولوجية مثل سقوط الأمطار لا تحدث بأى نظام محدد، حيث حدوث الأمطار وكثافتها وفترة استمرارها هى حالات طبيعية عشوائية. لنفترض مثلاً حالة الأمطار فى المثال رقم (١) والتى سقطت بسمك ٢٥ مليمتر لمدة ٢٠ دقيقة. فبالرغم من الطبيعة العشوائية لحالات حدوث المطر، إلا أنه يمكن تعيين متوسط تكرار الحدوث للعواصف الممطرة ذات الكثافة والفترة الزمنية المحددة. سيكون من المناسب إذا كان التاريخ المضبوط الذى سوف تحدث فيه عاصفة سقوط أمطار مشابهة فى المستقبل يمكن التنبؤ بها، ولكن من الواضح أن هذا مستحيل. فمثلاً، حتى فى حالة عدم إمكان تعيين تاريخ العاصفة الثانية ٢٠ دقيقة – ٢٥ مليمتر مقدما، إلا أنه من الممكن

التنبؤ بعدد الحالات التى من المتوقع أن تحدث فيها عواصف ممطرة مشابهة خلال العام القادم أو خلال عدة سنوات. هذا بالإضافة، إلى التنبؤ باحتمالات ملاحظة تلك العاصفة ثانيا فى أى فترة زمنية.



شكل (٣/٤) مثال لكثافة سقوط الأمطار مقابل الوقت

باختبار تسجيلات سقوط الأمطار لسنوات كثيرة واستخدام التحاليل الإحصائية، فإنه يمكن تعيين متوسط عدد السنين بين العواصف الممطرة ذات الكثافة المحددة وفترة الاستمرار المحددة. هذا الفاصل الزمنى بين العواصف المطرية المشابهة يسمى فترة التكرار أو عودة الفترة الزمنية للعاصفة. فترات العودة الزمنية هذه يتم تحديدها وتسجيلها بواسطة مصلحة الأرصاد الجوية، وكذلك مصممو حماية البيئة يجب أن يعرفوا كيفية قراءة واستخدام البيانات.

عند تطبيق هذه البيانات يستخدم التعبير (N-year storm) أى عدد تكرار مرات حدوث العاصفة المطرية ويرمز له بالرمز (N). مثلاً، عاصفة ذات فترة تكرار زمنية ٥ سنوات تسمى عاصفة – ٥ سنوات. وهذا يعنى أنه خلال فترة زمنية طويلة، فإن متوسط الفاصل الزمنى بين العواصف ذات هذه الكثافة المعينة ومدتها المحددة هو ٥ سنوات. وهذا لا يعنى أن عاصفة ممطرة مشابهة سوف تحدث مرة واحدة تماما كل ٥ سنوات. فى الحقيقة، فإنه من الممكن أن يحدث أكثر من مرة خلال ٥ سنوات مثل هذه العاصفة خلال فواصل زمنية صغيرة، حتى خلال العام الواحد، ولكن فرص هذا تكون ضئيلة. يلاحظ كذلك أن احتمالات حدوث العاصفة – ٥ سنوات فى أى فترة زمنية مدتها ٥ سنوات ليس بنسبة ١٠٠%. بمعنى آخر، يمكن القول أن عاصفة – ٥ سنوات ستحدث بالتأكيد خلال

الخمس سنوات القادمة مثلاً. ولكن خلال فترة زمنية طويلة ٥٠٠ عام مثلاً، سيكون هناك حوالى ١٠٠ من هذه العواصف – ٥ سنوات.

احتمالات الحدوث :

البيانات عن كثافة وفترة الاستمرارية وفترة العودة للعواصف الممطرة لها أهمية فى تصميم منشآت الصرف وكذلك لتوقعات ذروة التدفقات فى الأنهار، وعلى الطرف الآخر من الدورة الهيدرولوجية، فإن معرفة شدة الجفاف وتردد حدوثه له أهمية فى تصميم خزانات الإمداد بالمياه.

بسبب عدم التأكيد وعدم الانتظام لطبيعة الحوادث الهيدرولوجية، فإنه توجد دائماً مخاطر الفشل عند تصميم المنشأ أو الوسيلة المتعلقة بالمصادر المائية. فمثلاً النهر المستخدم لإمدادات المياه قد لا يمكنه توفير الماء الكافى للتجمعات خلال فترات الجفاف. حتى فى حالة بناء خزان صغير للتغلب على هذا، فإنه تظل دائماً المخاطرة نحو حدوث جفاف أكثر حدة والذى يسبب جفاف هذا الخزان. هذه المخاطرة يمكن خفضها ببناء خزان ضخم، ولكن هذا سيكون أكثر تكلفة. المصممون يجب أن يكونوا قادرين على المواءمة بين الاقتصاد والمخاطرة باستخدام قواعد الاحتمالات.

فرصة أو احتمال وضع حدث يمكن التعبير عنه بكسر، أو رقم عشرى أو نسبة مئوية، فمثلاً احتمال قذف قطعة العملة المعدنية لتكون صورة وليس كتابة هو مرة واحدة فى كل مرتين أو ½ = ٠,٥ = ٥٠% على المدى الطويل ٥٠ قذفة من بين ١٠٠ يمكن أن تكون صورة. احتمال واحد أو ١٠٠% يمثل تأكيد والاحتمال صفر مستحيل. توجد علاقة بسيطة بين الفترة الزمنية لعودة حدوث العاصفة الهيدرولوجية. إذا كان الحرف (N) هو فترة التكرار لهذه الحادثة (بالسنين) عندئذ فإن الاحتمال (P) لتلك الحادثة لتكون متساوية أو أكثر فى سنة ما هو مقلوب الحرف (N) يعبر عنه بالمعادلة $P = \frac{1}{N}$.

فمثلاً، احتمالات حدوث العاصفة المطرية – ٥ سنوات فى أى سنة واحدة هو p= ٠,٥ = ٠,٢ = ٢٠%، وهذا يعنى كذلك أن هناك فرصة أقل من ٢٠% نحو حدوث عاصفة أسوأ وأشد كثافة فى أى سنة.

بالاعتماد على الخبرة العادية، يمكن ملاحظة أن العواصف الممطرة الكثيفة تكون قليلة ومتباعدة فيما بينها، بمعنى آخر، كلما تباعد الفاصل الزمنى للحدوث الهيدرولوجى،

كلما كبرت فترة تكرارها. وكلما زادت فترة تكرارها (N) كلما قلت احتمالات الحدوث (P)، ذلك بسبب العلاقة العكسية بين الاثنين. فمثلاً، توجد فقط فرصة بنسبة ١% فقط نحو حدوث عاصفة – ١٠٠ عام فى سنة معينة. أنه احتمال قليل جداً لملاحظة عاصفة قوية – ١٠٠ عام مقارنة بعاصفة – ٥ عام. (رغم أنه فى مناطق كثيرة تسجيلات سقوط الأمطار لا تعود إلى الخلف لمدة مائة عام، يمكن استخدام نظريات الإحصاء أو الاحتمالات لامتداد البيانات الموجودة بعد الفترة الحقيقية للتسجيل.

للايجاز، كلما زادت فترة التكرار (N)، كلما قل احتمال تساوى أو زيادة الحادث الهيدرولوجى فى سنة ما. هذا مفهوم هام. عموماً كلما زادت حساسية المشروع نحو الفقد فى الأرواح، الخسائر الاقتصادية، أو الأثر البيئى السئ، كلما كانت قيمة (N) المستخدم فى حسابات التصميم أكبر. السد مثلاً، يمكن تصميمه لاحتواء فيضان ١٠٠عام، بينما إجمالى صرف العاصفة الممطرة يمكن تصميمه لتداول التدفق من عاصفة –٢ سنة. فى الحالة الأولى حيث تصميم السد للتدفق الضخم سيقلل من فرص الفشل أو تصدع السد ويؤكد حماية الأرواح والمتابعة تحت التيار. وفى الحالة الثانية يتم عمل المقارنة بين توفير المال للإنشاءات، أخذ الفرصة نحو صرف العاصفة والتدفقات مرة كل عامين أو هكذا.

العلاقات بين الكثافة، زمن الاستمرار التكرار :

(Intensity, Duration, Frequency, Relationships)

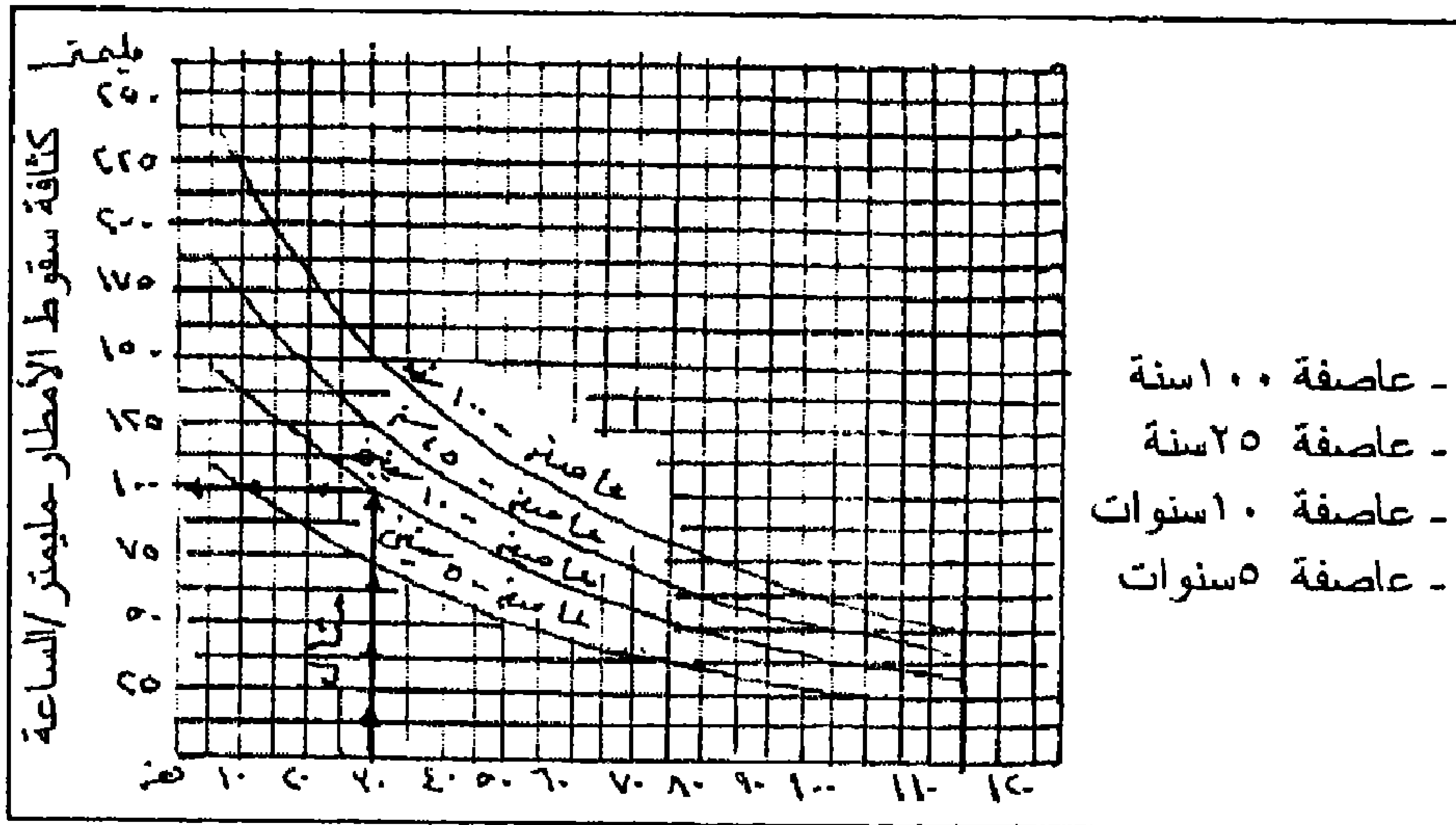
فى هذه المناقشة المصطلحات مثل كثافة العاصفة الممطرة، فترة استمرار العاصفة، الفاصل الزمنى للتكرار تكون دراستها كما لو كانوا كميات مستقلة. ولكن تلك العوامل الثلاثة مرتبطين ببعضهم البعض بما يتطلب دراستها معاً. المصطلح الترددى (Frequency) للعاصفة أو أى حادثة هيدرولوجية يختلف بطريقة عكسية مع فترة عودتها. عاصفة – ١٠ سنوات مثلاً، سوف تحدث فى أحايين أقل من العاصفة –٥ سنوات.

بيانات سقوط الأمطار التى يتم تجميعها بواسطة مصلحة الأرصاد الجوية يتم تجميعها وتحليلها ونشرها فى أشكال مختلفة. العلاقات ما بين كثافة سقوط الأمطار، وفترة استمرارها، وتردد حدوثها يمكن توضيحها فى مخطط فى شكل منحنيات أو خرائط، أو يمكن التعبير عنها فى شكل معادلات، حيث تستخدم هذه البيانات بواسطة المصممون لتقدير تدفقات العاصفة الممطرة وأقصى تدفق أو صرف.

منحنيات سقوط الأمطار : (Rain Fall Curves)

نموذج لمجموعة من منحنيات كثافة، فترة استمرار، تردد سقوط الأمطار في الشكل (٦/٥). الإطار العام لسقوط الأمطار يختلف طبقاً للوضع الجغرافي والمناخ. للتطبيق الحقيقي لبيانات سقوط الأمطار لمشكلة تصميم حقيقية، فإن منحنيات سقوط الأمطار المناسبة لمكان معين تحت الدراسة يتم الحصول عليها من الجهة المسئولة عن رصد حدوث الأمطار.

تستخدم منحنيات سقوط الأمطار بهذا الشكل بدخول المحور الأفقي مع الفترة الزمنية لاستمرار العاصفة التي يتم اختيارها، ثم التحرك أفقياً للتقاطع مع زمن عودة عاصفة معينة (الخطوط المنحنية) ثم التحرك رأسياً نحو المحور الأفقي، حيث تتم قراءة كثافة سقوط الأمطار. فمثلاً، يمكن من الشكل (٣/٥) ملاحظة أن عاصفة -١٠ سنوات واستمرارها لمدة ٣٠ دقيقة سوف تكون كثافتها ١٠٠ مليمتر في الساعة (أو حوالي ٤ بوصة / الساعة). شكل منحنيات سقوط الأمطار هذا يعكس حقيقة أن العواصف ذات فترات الاستمرار القصيرة لها متوسط كثافة أعلا من العواصف الطويلة. كذلك بالنسبة لفترة استمرار معينة، تكون الكثافات تقابل العواصف ذات فترات التكرار الطويلة.



شكل (٣/٥) نموذج لكثافة سقوط الأمطار زمن الاستمرار،

منحنى التردد. المنحنيات مثل هذه يتم إعدادها بواسطة إحصائيات سقوط الأمطار

مثال :

عاصفة مطرية استمرت لمدة ٤٠ دقيقة وأسقطت سمك ٥٠ مليمتر (٢ بوصة) من الأمطار. باستخدام منحنيات سقوط المطر فى الشكل (٣/٥) قدر احتمالات ملاحظة عاصفة مماثلة فى العام التالى.

الحل :

احسب كثافة العاصفة كالآتى :

الكثافة $\frac{\text{٥٠ مليمتر}}{\text{٤٠ دقيقة}} \times \frac{\text{٦٠ دقيقة}}{\text{١ ساعة}}$ = ٧٥ مليمتر فى الساعة

الآن استخدام الشكل (٣/٥) على المحور الأفقى بـ ٤٠ دقيقة وعلى المحور الرأسى بـ ٧٥ مليمتر فى الساعة. تقاطع الخطوط الأفقية والراسية الممتدة من هذه النقط تقع تقريباً فى منتصف المسافة بين عاصفة – ٥ سنوات، عاصفة – ١٠ سنوات. من هذا يمكن استنتاج أن زمن العودة للعاصفة محل الدراسة هو حوالى ٧,٥ سنة. احتمال ملاحظة عاصفة مشابهة أو أشد كثافة فى العام التالى يتم حسابها باستخدام المعادلة التالية.

P = ١ ÷ ٧,٥ = ٠,١٣ أو ١٣%

معادلات سقوط الأمطار :

العلاقة بين الكثافة – فترة الاستمرار – والتكرار أو التردد يمكن التعبير عنها بمعادلات بدلاً من شكل المنحنيات. أحد المعادلات التى يمكن استخدامها هو

$$i = \frac{A}{t + B}$$

حيث :

i = كثافة سقوط الأمطار مليمتر/ الساعة (بوصة /الساعة)

t = الفترة الزمنية لسقوط الأمطار بالدقيقة.

B, A = ثوابت تتوقف على فترات التكرار والشكل الجغرافى للمكان.

قيم الثوابت A ,B تم استخراجها من أماكن مختلفة من المدينة. فمثلا بالنسبة لعاصفة – ١٠ سنوات فى غرب وسط ولايات الأطلنطى، يمكن أن تكون A , B ٥٨٤٠ ، ٢٩ على التوالى. (هذه القيم لـ A , B) تستخدم فى حالة النظام المترى، الكثافة (I) فى هذه الحالة بالمليمتر/ الساعة.

مثال :

باستخدام معادلة سقوط الأمطار ($i = \frac{A}{t+B}$) عين شدة أو كثافة سقوط الأمطار لعاصفة – ١٠ سنوات لفترة استمرار ٦٠ دقيقة حيث فى كاليفورنيا A = ٥٨٤٠ ، B = ٢٩، فى الولايات الغربية A = ١٥٢٠ ، B = ١٣

الحل :

باستخدام المعادلة حيث t = ٦٠ دقيقة

$$\text{فى كاليفورنيا } i = \frac{٥٨٤٠}{٦٠ + ٢٩} = \text{٦٦ مليمتر/ الساعة}$$

$$\text{فى الولايات الغربية } i = \frac{١٥٢٠}{٦٠ + ١٣} = \text{٢١ مليمتر/ الساعة}$$

خرائط سقوط الأمطار :

يمكن توقيع سقوط الأمطار على خرائط، حيث توضح الخطوط المتصلة عمق الأمطار خلال عام معين ولمدة استمرار معينة.

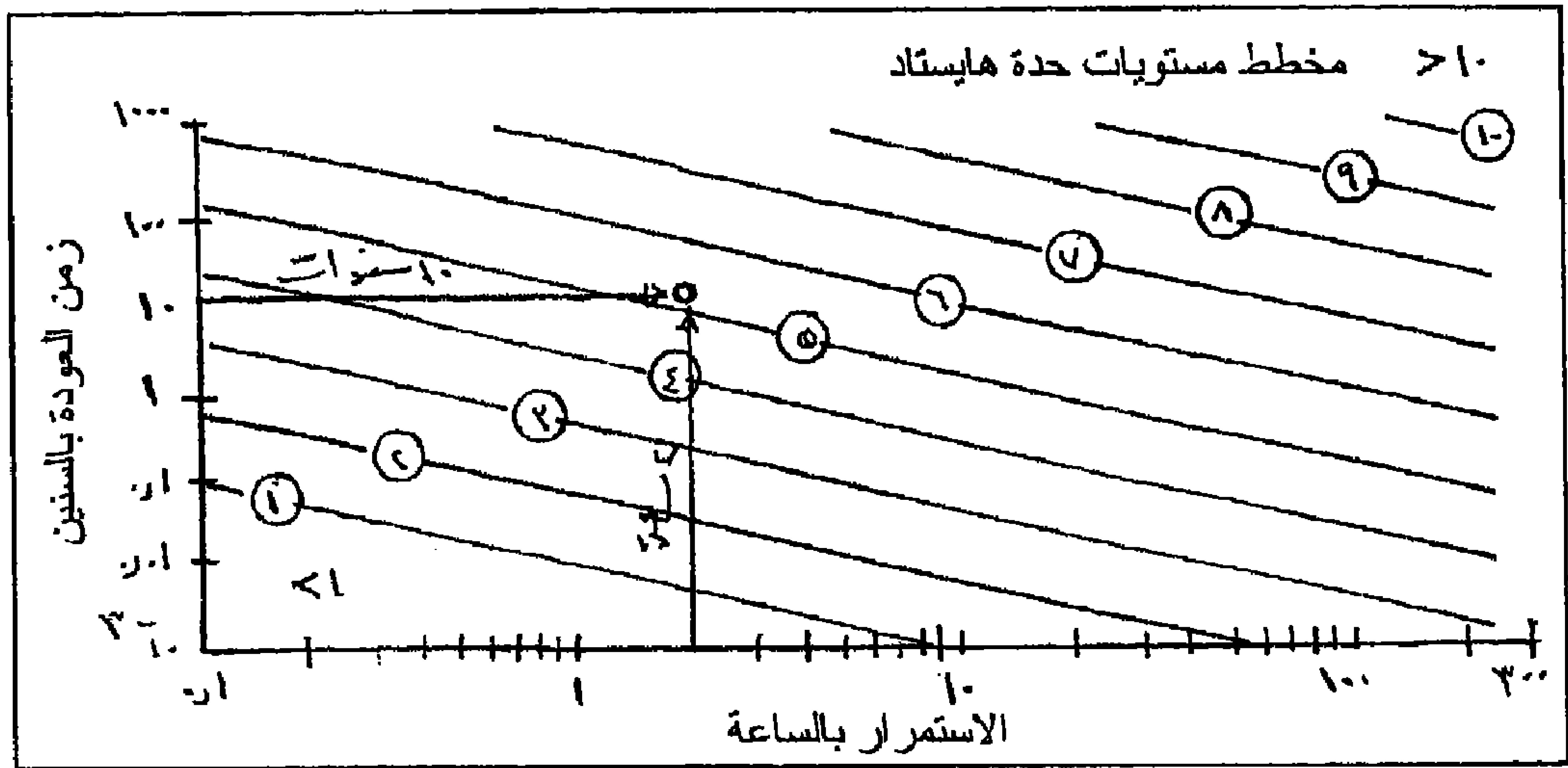
نظام تقسيم سقوط الأمطار :

المصطلحات المستخدمة فى أزمنة العودة مثل سقوط أمطار – ٥ سنوات أو عاصفة – ١٠٠ سنة هى لوصف حوادث سقوط الأمطار – قد يلاحظ من الوهلة الأولى أن سقوط الأمطار – ٥ سنوات صغير مقارنة لحالة – ١٠٠ سنة. ولكن هذا ليس الواقع بالضرورة ذلك لأن استمرار العاصفة يلعب دوراً هاما فى وصف حدة العاصفة الممطرة. فمثلا، من

الممكن أن عاصفة – ٢ سنة لمدة ٢٤ ساعة يكون لها عمق أمطار أعمق عن عاصفة – ٥٠ سنه لمدة ساعة واحدة. والذى ينتج عنه زيادة فى هطول الأمطار فى حالة العاصفة – ٢ سنة. والتى قد يكون لها أثر بيئى أكثر حدة وإحداث خسائر أكبر فى المتاع والممتلكات. بغرض توصيف حدة العاصفة، يكون عندئذ من الضرورة حساب زمن العودة وفترة الاستمرار (عامل آخر يمكن أن يؤخذ فى الحساب هو مقدار المساحة التى تحدث فوقها العاصفة المطرية).

أحد مقترحات نظام تقسيم سقوط الأمطار هو مخطط الحدة لهايستاد (HIS - Haestad severity Index) - والذى يستخدم عشرة مستويات للقيمة تعرف بالعلاقة اللوغاريتمية بين أزمنة العودة والاستمرار وخمسة أنواع من الحدية تشبه تلك المستخدمة فى الأعاصير والزوابع.

المخطط الذى يوضح مستويات (HIS) موضح فى الشكل (٣/٦). والجدول (٣/١) يوضح العلاقة بين مستويات (HIS) وحالات الحدة.



شكل (٣/٦) توقيع لوغاريتمى لزمن عودة سقوط الأمطار مقابل فترة استمرار سقوط الأمطار لتعيين مخطط الحدة لهايستاد لعاصفة. فمثلاً عاصفة – ١٠ سنوات – ٢ ساعة لها مستوى هايستاد ٥,١.

جدول (٣/١) مخطط مستويات الحدة لهايستاد ومستويات سقوط الأمطار :

مخطط الحدة لهايستاد	التصنيف	الوصف العام
أقل من ٢,٥	لا شئ	غير واضح كفيضان، نوعية مياه قابلة للاستخدام
من ٢,٥ إلى ٤	١	فيضان ضعيف فى الساحات، ومناطق الصرف الضعيفة
من ٤ إلى ٥,٥	٢	الاقتراب من طاقة التصميم لخطوط صرف الأمطار مع توقف فيضان الشوارع.
من ٥,٥ إلى ٧	٣	معظم خطوط الصرف وطاقة القنوات تزيد عن طاقتها حيث يحدث ارتفاع فى قنوات المياه.
من ٧ إلى ٨,٥	٤	زيادة عن تصميمات كل نظم النقل والصرف الإغراق وإحداث تلفيات.
أكبر من ٨,٥	٥	حوادث سقوط أمطار مسببه للدمار، فوق طاقة شبكات الصرف والمجارى السطحية والأنهار، حيث الفيضان المدمر.

مثال :

أحسب مستوى هايستاد لحادثتين لسقوط الأمطار مع فترة زمنية للعودة ١٠ سنوات، وعين تصنيف كل حادثة. العاصفة الأولى استمرت لمدة ساعتين والعاصفة الثانية استمرت لمدة ٤٨ ساعة.

الحل :

من الشكل (٣/٦) تقاطع الخطوط الأفقية والعرضية لعشر سنوات، ٢ ساعة ينتج مستوى حدية أو هايستاد حوالى خمسة. من الجدول (٦/١) يلاحظ أن مثل هذه العاصفة سيكون تصنيفها ضمن الحادثة رقم (٢) المستوى الذى سوف يقترب من طاقة التصميم لشبكات حصد الأمطار التقليدية ومداخلها. ثانياً من الشكل (٣/٦) لعشرة سنوات،

واستمرار العاصفة لمدة ٤٨ ساعة، فإن هايستاد هو حوالى (٧) – من الجدول (٣/١)، يكون التصنيف (٤)، والذى سوف يسبب حدوث فيضان مدمر. كلا العاصفتين لهما نفس الفترة الزمنية للتكرار أو الحدوث، ولكن العاصفة ذات الاستمرار الأطول لها حدية أشد أو مقدار أكبر. وهذا واضح فى حالة العواصف ذات فترة التكرار الزمنية الواحدة، حيث زيادة فترة استمرار العاصفة، يعنى زيادة حدتها. ولكن هذا ليس واضحاً عند مقارنة عاصفتين لهما فترة عودة زمنية مختلفة، كما يوضحه المثال التالي.

ما هى العاصفة ذات الحدة الأشد، هل العاصفة – ٥ سنوات لمدة ٤٨ ساعة أو العاصفة – ١٠٠ سنه لمدة ٢٠ دقيقة.

الحل :

من الشكل (٣/٦) والجدول (٣/١) يلاحظ أن العاصفة –٥ سنوات ٢٤ ساعة هى فى التصنيف (٣)، بينما العاصفة – ١٠٠ سنة – ٢٠ دقيقة (٠,٣٣ ساعة) هى فى التصنيف رقم (٢) والذى هو أقل حدة. فى هذه الحالة فإن العاصفة – ٥ سنوات يمكن أن تحدث تلفيات أكثر من العاصفة – ١٠٠ سنة.

٤ - المياه السطحية : Surface Water

المياه التى تتدفق على الأرض تسمى عادة الماء الجارى فوق سطح الأرض أو ماء المطر (Run off). هذا الماء الجارى الذى لم يصل بعد إلى قناة مجرى محددة يسمى التدفق فوق سطح الأرض (Over Land Flow) (على سطح ناعم مثل الرصف). هذا النوع من الماء السطحى هام فى حالة مناقشة نظم صرف مياه الأمطار. فى معظم الحالات، مصطلح المياه السطحية يشير إلى المياه التى تنساب فى المجارى المائية والأنهار وكذلك المياه المخزنة فى البحيرات الطبيعية أو البحيرات الصناعية.

مستجمعات المياه : (Water Sheds)

كما سبق توضيحه يحدث المطر المنهمر (Run off) عندما يزيد معدل الترسيب أو هطول الأمطار عن معدل الإعاقة أو البخر والنتح. المساحة الكلية للأرض التى تسهم فى المطر الزائد نحو النهر أو المجرى المائى تسمى مستجمعات المياه. ويمكن أن تسمى أحواض الصرف أو مساحات الحجز، وخاصة فى حالة تدفقات الماء نحو أو فى نظام صرف حضرى. عموماً يهتم المهندسون فى تحديد كمية المياه الزائدة فى نقطة معينة فى

المجرى الطبيعى أو نظام الصرف الهندسى. هذه النقطة تسمى مخرج الحوض أو نقطة التركيز.

يمكن تحديد الحد الطبيعى المحيط بمستجمعات الحجز من الخريطة الطبوغرافية، باستخدام خطوط كنتور ارتفاعات الأرض. بالنظر إلى الخريطة الطبوغرافية سيلاحظ تدفق المياه بحرية عمودى على خطوط الكنتور، والذى هو اتجاه أدنى انحدار عند أى نقطة. عند فحص الخريطة الكنتورية وملاحظة الإطار العام للتدفق فوق سطح الأرض، عندئذ يكون من الممكن تعيين حدود مستجمعات المياه، هذا الحد يسمى خط تقسيم الصرف أو خط السد (Drainage Divide line or Ridge line)، وهو يفصل المستجمعات المتجاورة.

صورة مبسطة لمستجمع المياه هى تلك للقمع شكل (٣/٧). الحدود المتسعة عند قمة القمع تمثل خط الإعاقة أو السد والمساحة الدائرة الداخلية لخط الإعاقة تمثل مساحة الحجز. مع سقوط الأمطار داخل إطار الحجز أو الإعاقة فإنها تتدفق إلى أسفل نحو المخرج الضيق عند القاع، والذى يمثل نقطة التركيز. فى التطبيقات العملية، يجب رسم وتحديد خط السد أو الإعاقة على خريطة طبوغرافية بواسطة المهندس أو الفنى المختص. عادة خط الإعاقة أو السد يكون غير منتظم الشكل وليس فى شكل دائرة كما فى حالة قمة القمع، ونقطة التركيز تقع على الخط وليست فى منتصف المساحة، نظراً لأن المسقط الرأسى لمستجمع المياه يكون مرسوماً.

<u>لرسم خط تقسيم الصرف على خريطة طبوغرافية يمكن اتباع الخطوات التالية:</u>

١- إبدأ عند نقطة التركيز هذه يمكن أن تكون تقاطع مجريين، عند نقطة حيث يتدفق المجرى خلال بالوعة أو بربخ أو عداية لطريق رئيسى، أو عند موقع خزان. خط التقسيم سوف يبدأ وينتهى عند هذه النقطة.

٢- يتم اختيار خطوط الكنتور لتعيين الشكل العام للتدفق. تصور سقوط الماء على الأرض عند أى نقطة وملاحظة أى طريق سوف تسلكه. إبدأ بمخطط مقاطع خط التقسيم الذى يفصل بوضوح مستجمع مياه عن مستجمع المياه المجاور. هذه الأجزاء من الخط سوف تتبع العوائق والسدود والمرور خلال المرتفعات بين القمم الطبوغرافية لاحظ أن خط تقسيم الصرف الطبيعى هو دائماً عمودى على خط الكنتور.

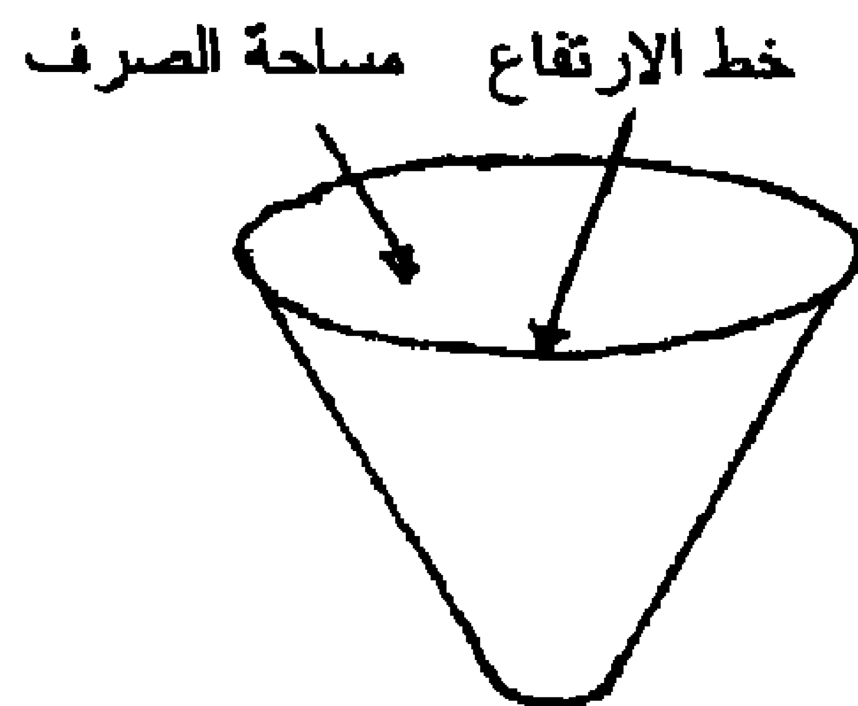
٣- أملأ أى فراغات يمكن أن تترك فى الخط الجارى توقيعه. أحياناً، خط التقسيم سينحرف بحدة على قمة السد أو العائق للمرور خلال أحد المرتفعات التى تصل بين قمتين (Saddle) على الخط.

مخطط موقع لإطارات التدفق وخط تقسيم الصرف موضح فى الشكل (٣/٨-أ) ومنظر رأسى لنفس المنطقة موضح فى الشكل (٣/٨-ب). الانحناءات الحادة التى يمكن أن يتصف بها خط التقسيم عند مروره خلال السدود والمرتفعات المجاورة موضح فى الشكل (٣/٩). خط تقسيم صرف آخر موضع (٣/١٨) - كخط منقط ومهشر).

النقطة التى عندها يتقاطع أو يتداخل مجريين تسمى نقطة الجمع أو الحشد (Point of Con Fluence). مع تداخل التدفقات الصغيرة، فإنه تتكون المجارى الضخمة أو الأنهار. مساحة التجمع لمجرى معين يمكن أن تكون مجرد جزء من منطقة استجماع المياه الأكبر. المساحات الأصغر تسمى أحواض فرعية لمنطقة استجماع المياه (Subbasin of the Water Sheds). نموذج لشبكة الصرف موضح فى الشكل (٣/١٠). يمكن تقسيم المجارى طبقاً لوضعها فى الشبكة الكلية. التقسيم التقليدى هو مجارى الدرجة الأولى، مجارى الدرجة الثانية وهكذا. مجارى الدرجة الأولى ليس لها أى روافد أو مجارى أصغر تتدفق نحوها.

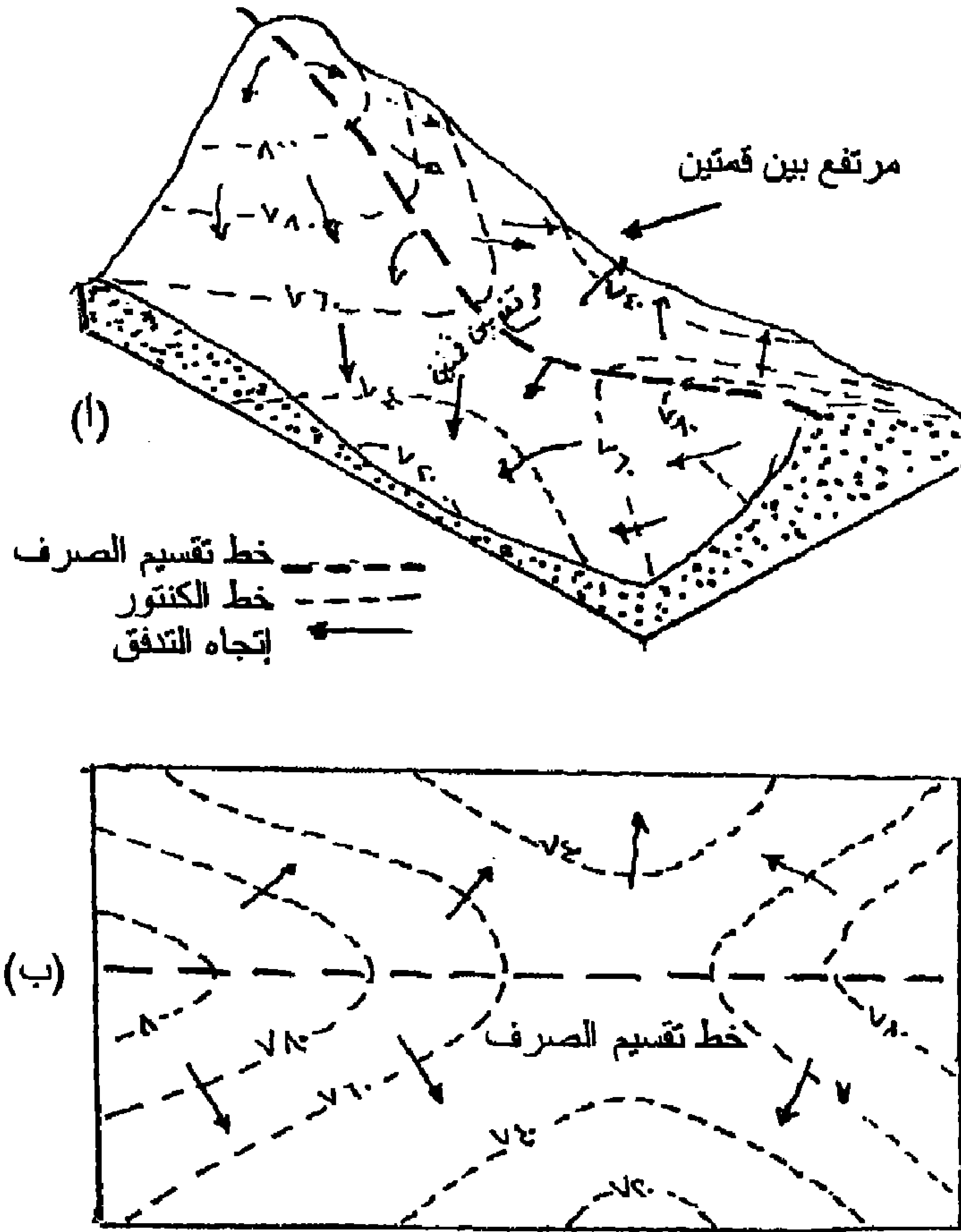
مستجمعات المياه لنهر كبير قد تشمل آلاف من الأميال المربعة وكذا تتضمن كثيراً من الروافد الصغيرة. هذه المستجمعات الضخمة للمياه تسمى كذلك أحواض النهر.

مساحة حوض الصرف تعنى إجمالى مساحته الأفقية. الأحواض الصغيرة نسبياً يمكن أن يعبر عنها بالفدان أو الهكتار. تجهيزه ميكانيكية تسمى مقياس المسطحات (Planimeter) تستخدم عادة لقياس المساحة بمجرد تتبع حدود مستجمع المياه. يمكن معايرة مقياس المسطحات الحديثة للقراءة الرقمية للمساحة على أساس مقياس الرسم للخريطة المستخدمة.



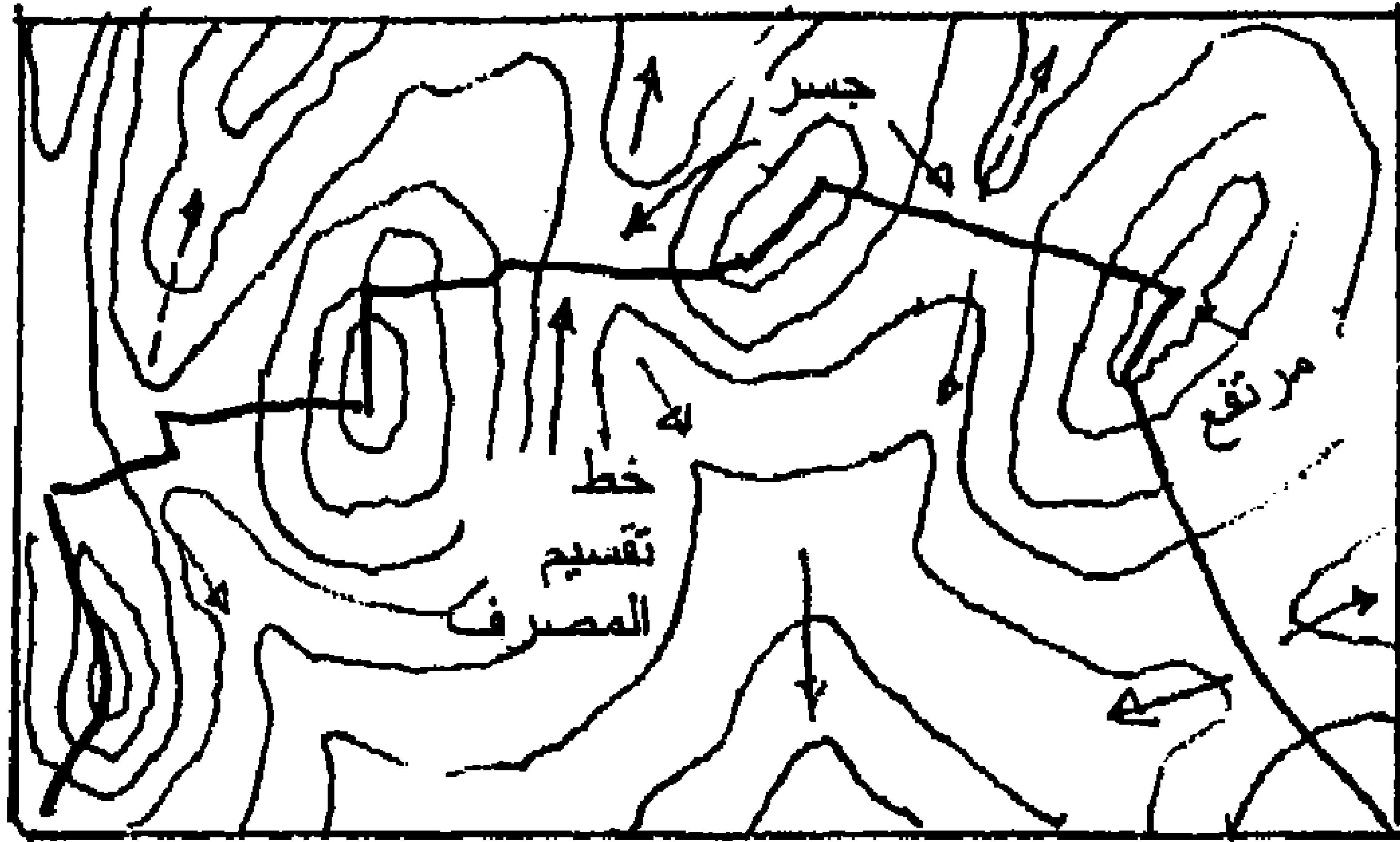
شكل (٣/٧) منظر مبسط لحوض صرف أو مستجمع المياه

حجم ومعدل تدفق مستجمع المياه هو دلالة لمتغيرات كثيرة. مساحة الحوض والكثافة وفترة الاستمرار لسقوط الأمطار لها تأثير مباشر على كمية ومعدل الفيضان. عوامل أخرى تشمل ميل الأرض، نوع التربة والتغطية النباتية، ونوع استخدامات الأرض. فمثلاً، المساحة المسطحة ذات التربة الرملية سوف تنتج فيض أو تدفقات أقل من المساحة المائلة ذات التربة الطفلية. كثير من المياه سوف يتسرب خلال مسام التربة الرملية فى الحالة الأولى، تاركاً جزءاً صغيراً من الأمطار ليكون تدفقات سطحية. كذلك المناطق الحضرية كثيفة السكان تسبب زيادة فى الفيض عن المناطق الريفية.



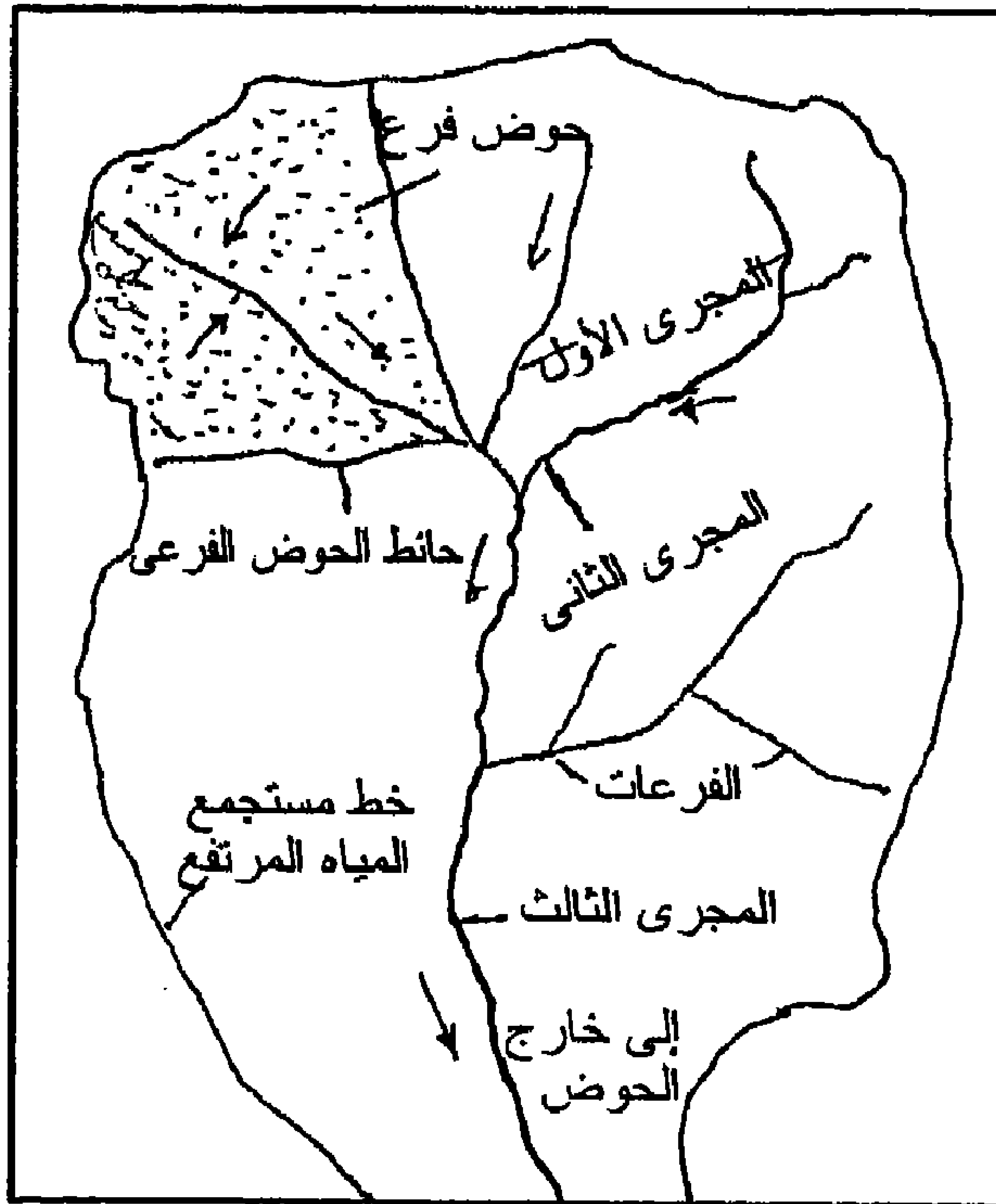
شكل (٣/٨-أ) منظر عام للتدفق حيث الاسهم تشير إلى إتجاه التدفق - خط تقسيم الصرف يمر خلال مرتفعين والسرج أو المرتفع الأقل المتصل بينهما يفصل عدد ٢ من مستجمعات المياه.

شكل (٣/٨-ب) منظر رأسى لخريطة طبوغرافية التى توضح نفس خط تقسيم الصرف وخطوط الكنتور الموقعة فى (أ)



شكل (٣/٩) خط تقسيم الصرف أو ينحرف بشدة

على مرتفع أو على جرس كما هو موضح



شكل (٣/١٠) مستجمع المياه الضخم عادة يشمل

مساحات تجمع صغيرة أو أحواض صغيرة

تدفق المجرى المائي : (Stream Flow)

كمية أو حجم المياه التى تتدفق فى المجرى المائى تسمى معدل التدفق أو الصرف للمجرى المائى. الصرف يقدر بالحجم فى وحدة الزمن الذى يعبر أى نقطة فى المجرى المائى. الوحدات المترية للصرف هى عادة المتر المكعب فى الثانية، المتر المكعب فى الساعة، أو بوحدات القدم المكعب فى الثانية أو بالجالون في الدقيقة. مقطع المجرى الذى له ميل ثابت تقريباً، وكذلك المقطع والصرف، يمكن أن يسمى اللسان المنبسط من المجرى (Reach of the Steam). يختلف تصرف المجرى مع الوقت. عموماً نلاحظ التدفقات العالية فى أشهر الربيع والصيف، بينما المعدلات المنخفضة من التصرف تكون فى فصل الشتاء، ذوبان الجليد يمكن أن يساهم بشكل كبير فى تصرف المجرى. التغيرات فى التصرف التى تحدث علي أساس كل أسبوع أو كل يوم أو كل ساعة لها علاقة مباشرة بحوادث سقوط الأمطار. فى بعض المجارى المائية يمكن أن يحدث تغير كبير فى التصرف ما بين الوفرة والجفاف.

ومعدلات التدفق المنخفضة يمكن أن تسبب مشاكل بيئية فى المجارى المستقبلة للصرف من محطات معالجة مياه الصرف بسبب قلة المياه فى المجرى لتخفيف تركيزات مياه الصرف.

كذلك فإن معدل التصرف المنخفض للمجرى المائى يمكن أن يسبب مشاكل بيئية إذا كان هذا المجرى هو مصدراً لإمدادات المياه. ولكن التصرفات العالية جداً عادة تحتم إنشاء نظم التحكم فى الفيضان.

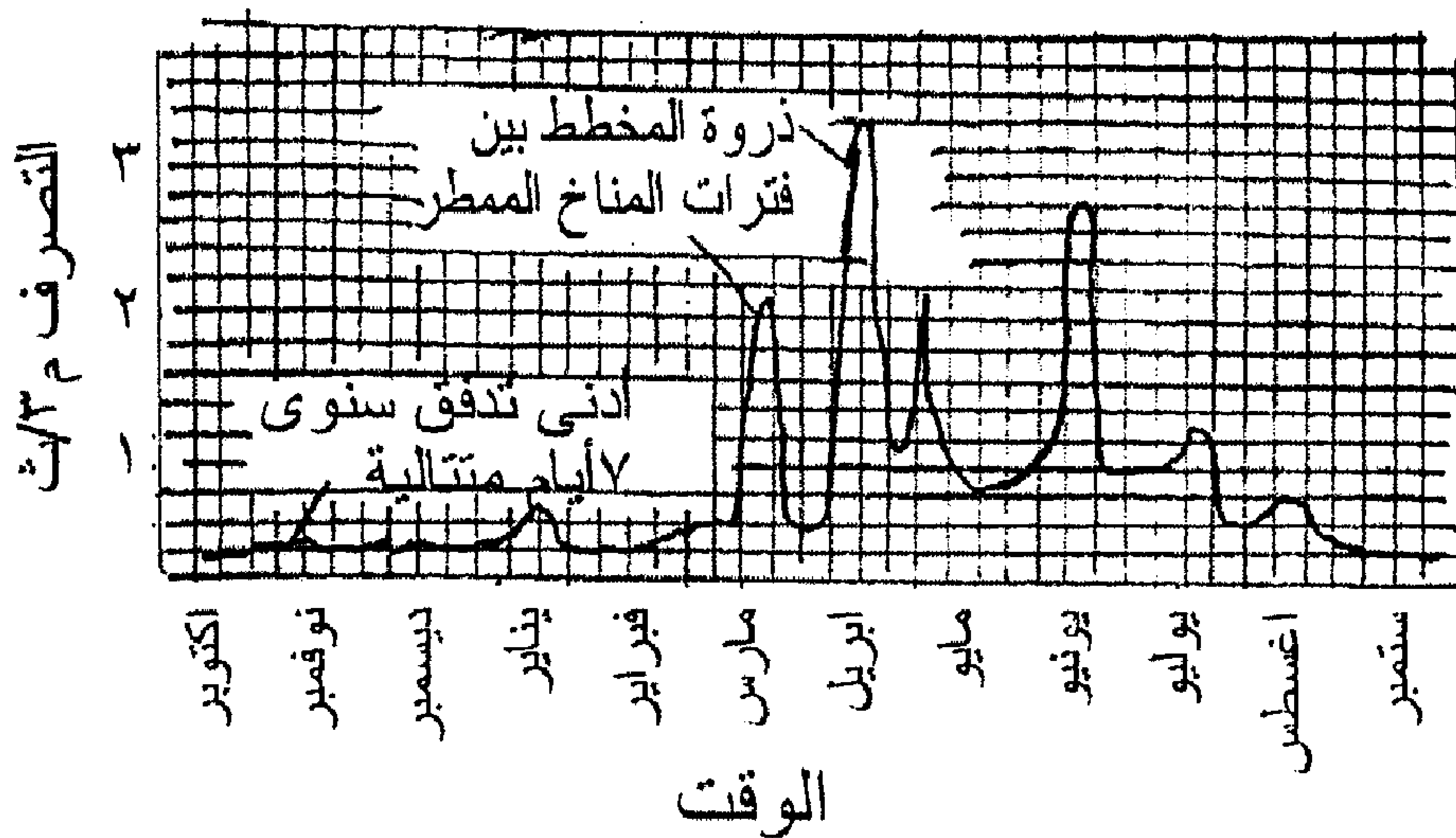
علم وصف المياه : (Hydrographs)

مخطط التصرف مقابل الوقت يسمى الهيدروجراف. المحور الرأسى يمثل التصرف والمحور الأفقى يمثل الوقت. الفواصل الوقتية قد تمتد إلى عدة سنوات أو لعدة ساعات، طبقاً لنوع الهيدروجراف واستخدامه.

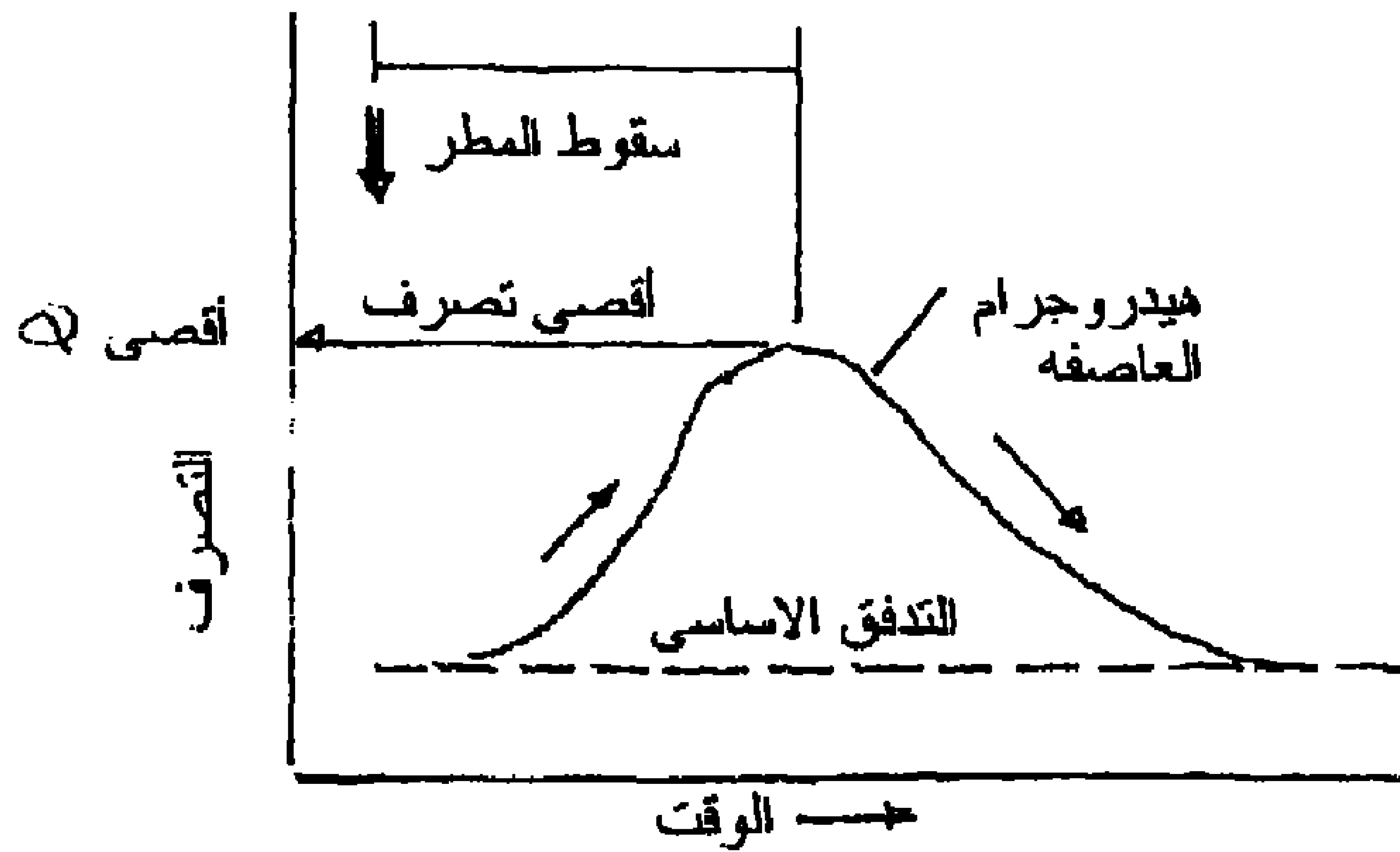
تدفق المجرى خلال فترة عام واحد يمكن توقيعه كهيدروجراف سنوى، كما هو موضح فى الشكل (٣/١١). القمم المرتفعة فى المخطط تمثل فترات السقوط الكثيف للأمطار.

الهيدروجراف المطر الغزير أو عاصفة الهيدروجراف تمثل تأثير التدفق في المجرى بالنسبة لحادثة سقوط أمطار معينة. الفاصل الزمنى على المحور الأفقى يكون عادة بالساعات أو الأيام. نموذج لهيدروجراف العاصفة موضح بالشكل (٣/١٢).

بعد بدء العاصفة بقليل وصول التدفقات فوق الأرض إلى قناة المجرى، فإن تصرف المجرى يبدأ فى الزيادة. وهذا يوقع كطرف مرتفع للهيدروجراف. بعد فترة زمنية والتى تسمى فترة التخلف (Lag Time)، والتى تعتمد على الخواص الطبيعية لمستجمع المياه، يحدث أقصى تصرف. أقصى تدفق فى المجرى هذا يمكن أن يحدث لساعات كثيرة بعد توقف هطول المطر. بعد الوصول إلى حالة الذروة هذه فإن تدفق المجرى يقل تدريجياً نحو التدفق الأساسى. التدفق الأساسى (Base Flow) هو التدفق الطبيعى للمناخ الجاف فى المجرى، والذى يستمر بسبب تسرب المياه الجوفية من التربة نحو قناة المجرى. المجرى الذى له تدفق أساسى خلال العام يسمى مجرى دائم طوال السنة (Perennial Stream). المجرى الذى يجف تماماً أثناء فترات قلة سقوط الأمطار يسمى المجرى المتقطع. قنوات المجرى الدائم تخترق خط المياه الجوفية، بينما المجارى المائية المتقطعة تقع فوق خط المياه الجوفية.



شكل (٣/١١) مخطط هيدرولوجى لحوض صغير يبين التصرف مقابل الوقت



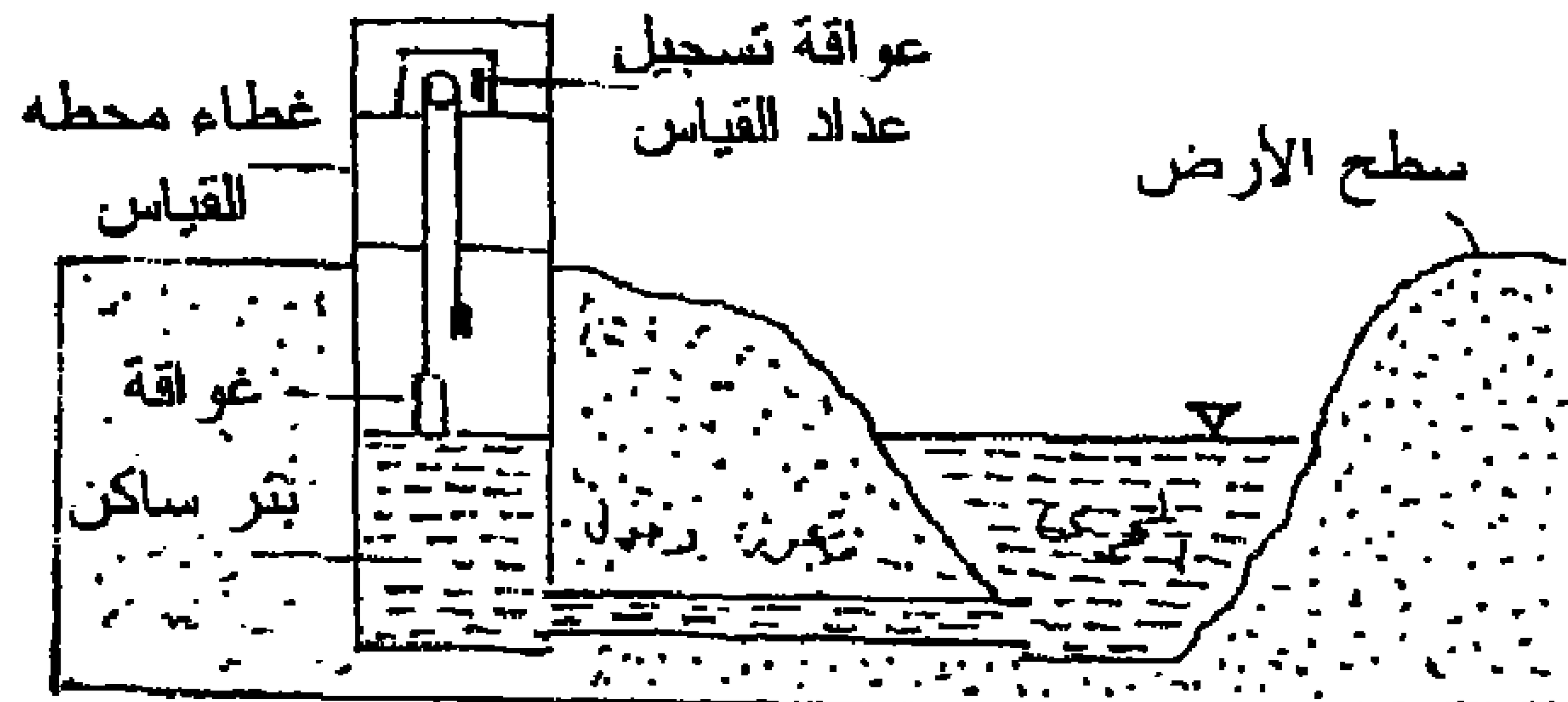
شكل (٣/١٢) مخطط لعاصفة أو الفيضان يوضح التأثير المباشر

لواقعة سقوط الأمطار على تدفق المجرى

محطات القياس : (Gauging stations)

المنشأ الثابت الذى يسمى محطة القياس يتم إنشاؤه على طول النهر لتوفير التسجيل المستمر للتدفق مقابل الوقت. مخطط لمحطة القياس كما فى الشكل (٣/١٣) أساس القياس فى محطة القياس هو عمق الماء فى المجرى المائى أو النهر. ارتفاع سطح الماء فوق منسوب قياسى هو المسافة بين منسوب القاع ومنسوب الماء، هذا الفرق فى المنسوب يتغير مع تغير التصرفات، كما هو متوقع كلما زاد المنسوب زادت التصرفات.

يمكن قياس فرق المنسوب وتسجيله على مخطط دوار بواسطة تجهيزه لتعمل بالطفو. الكابل والعوامة عند أحد الأطراف، وثقل الاتزان على النهاية الأخرى ويكون معلق على بكرة كما هو موضح فى الرسم.

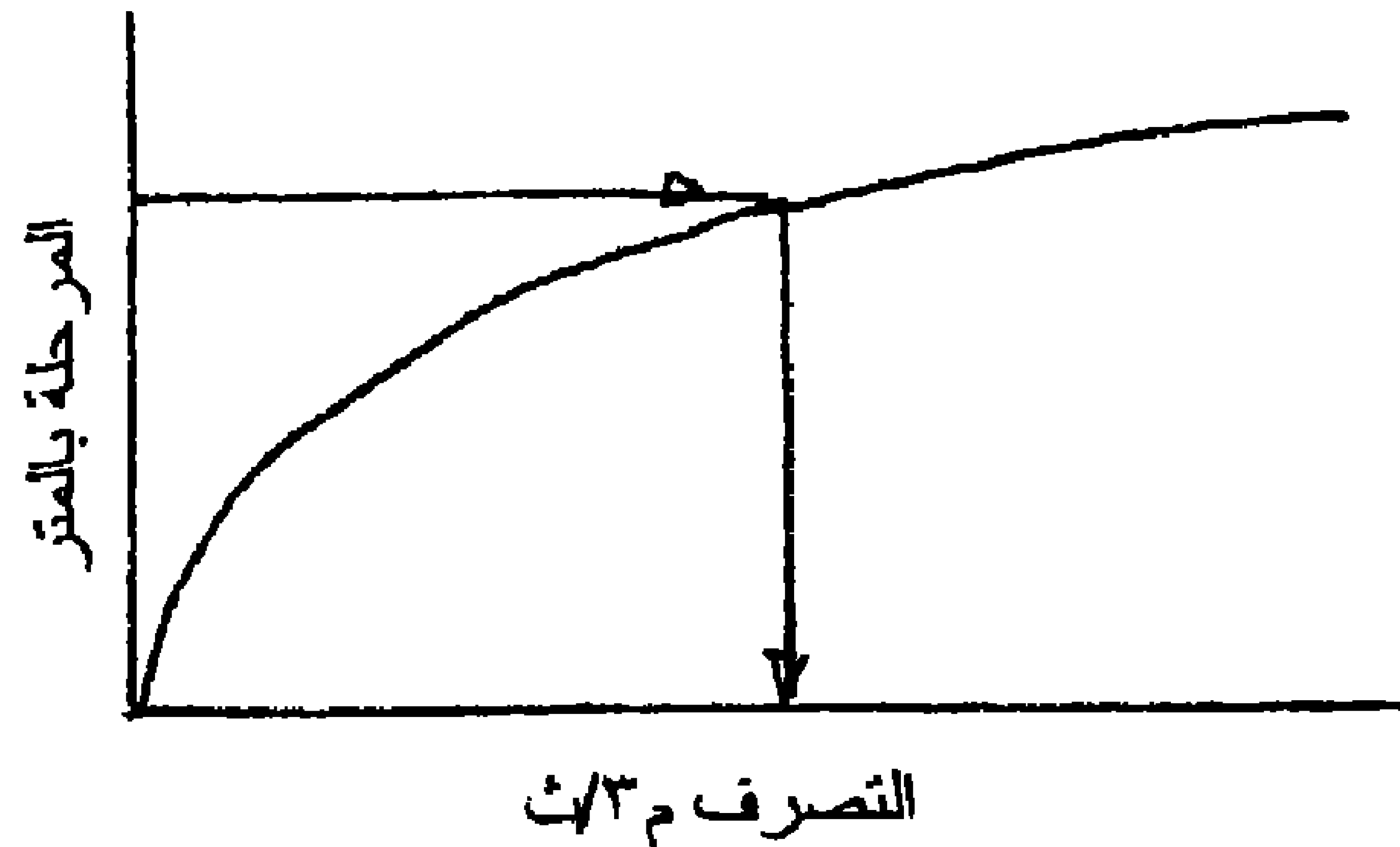


شكل (٣/١٣) مقطع لمحطة قياس المجرى،

حيث ارتفاع الماء فى البئر الساكن هو نفسه فى حالة النهر أو المجرى

تتحرك العوامة إلى أعلا .إلى أسفل مع تغير المناسيب، بما يعمل على دوران البكرة وبذا يتغير مكان القلم على المخطط. البئر الساكن، متصل بقناة المجرى بواسطة ماسورة، لمنع التغيرات الكثيرة لمنسوب الماء بسبب الرياح أو أى عوامل أخرى. تستخدم كذلك تقنيات تسجيل رقمية حديثة وأجهزة القياس عن بعد.

قبل بدء محطة التسجيل فى توفير البيانات حول تدفق المجرى، يكون من الضرورى تعيين العلاقة الحقيقية بين فرق المنسوب والتصرف. هذه العلاقة عادة يعبر عنها فى شكل مخطط فى منحنى تقديرى (Rating Curve) أو منحنى تصرف المنسوب كما فى الشكل (٣/١٤). بمجرد عمل هذا المنحنى التقديرى للمجرى، يكون من الضرورى فقط قياس الفرق للمنسوب (Stage) لمعرفة ماهو التصرف بالنسبة لحجم معدل التدفق.



شكل (٣/١٤) منحنى مرحلة التصرف للمجرى المائى أو النهر، موضحاً العلاقة بين معدل التدفق وعمق الماء فى هذا النهر

أحد الطرق المستخدمة لربط العلاقة بين مرحلة فرق المنسوب والتصرف هى بإنشاء سد صغير أو هدار فى قناة المجرى (الهدار هو إعاقة في المجرى حيث يجب أن تتدفق المياه أعلاه). ارتفاع المياه المتدفقة فوق الهدار، تسمى الرأس على الهدار، وترتبط هيدروليكيا بحجم معدل التدفق.

فى المجارى الكبيرة والأنهار، قد تكون إعاقة تدفق المياه باستخدام الهدار طريقة غير عملية. زيادة عمق الماء خلف الهدار يمكن أن يسبب فيضان للماء تحت التيار. بدلاً من ذلك، التجهيزه المسماة مقياس التيار (Current Meter) تستخدم غاطسة عند نقط مختلفة فى النهر لقياس سرعة التدفق عند فروق المناسيب المختلفة. نموذج لمقياس التيار يشمل دافع صغير الذى يدور فى الماء بمعدل يتناسب مع سرعة الماء. مع معرفة العمق

ومساحة المقطع للمجرى وحيث يتم عمل قياس للتيار، فإنه يمكن حساب التصرف. نظرا لأن عمق وشكل قاع المجرى قد يتغير بالتدريج بسبب البرى أو الترسيب، فإن منحنى المعدل يجب مراجعته وتحديثه من آن إلى آخر. يمكن حاليا استخدام إحصائيات تدفق المجرى بدون محطات قياس باستخدام نظم معادلات حديثة.

٥- الجفاف أو ندرة المياه : (Droughts)

الجفاف هو طول الفترة الزمنية للمناخ الجاف التى تسبب نقص فى المياه المتاح. على الجانب الآخر، الفيض هو ما يحدث عند فيضان المجرى أو النهر خارج الأجناب، بعد فترة من المطر الغزير أو انصهار الجليد. كلا هاتين الحالتين هما حدود هيدرولوجية قصوى والتى تعتبر حالات سيئة بالنسبة للمشاكل البيئية، بالإضافة إلى احتمال ما تسببه من فقد فى الأرواح والممتلكات.

لخفض المشاكل بسبب الفيضانات أو الجفاف، فإن مصممى الإنشاءات الهيدرولوكية ووسائل إدارة المياه يجب أن يكونوا قادرين على التقييم الكمى لحدة وتكرار تلك الحوادث. قيمة فيضان (N) سنة لمستجمع مياه معين يجب أن يتم تحديده إذا كانت جهود التحكم فى الفيضان ستكون مؤثرة. التدفق المنخفض فى المجرى بسبب الجفاف يجب تقديره إذا كانت المشاكل المتعلقة بالفترات الزمنية الطويلة للمناخ الجاف يمكن تجنبها.

إلى حد كبير، حدوث وشدة الفيضانات أو حالات الجفاف يمكن أن ترتبط بالترسيبات. نظرا لأن تسجيلات الترسيب تكون متاحة أكثر من بيانات تدفق المجرى المائى، فإن المصممين عادة لهم اختيار محدود ولكن لعمل تقديرات لحدوث الجفاف أو الفيضان من واقع تسجيلات بيان سقوط الأمطار. من المفترض أن الفترة الزمنية لتكرار أقصى تصرف للمجرى هى نفسها الفترة الزمنية لعودة العاصفة الممطرة التى تم حساب التصرف منها.

التدفقات المنخفضة التى تحدث باستمرار فى المجارى المائية أثناء الجفاف لها أهمية لسببين. إذا كان المجرى يستخدم فى إمدادات المياه، فإنه يجب تعيين إذا كان يجب بناء خزان لتأكيد الإمداد المناسب أثناء الجفاف، وإذا كان المجرى يستقبل مياه صرف من محطة معالجة مياه الصرف الصحى، حيث يجب تحديد ما إذا كان التدفق المنخفض للمجرى المائى سيظل مناسبا لتخفيف الصرف أو أن الأمر يتطلب بعض التقنيات المتقدمة للمعالجة.

متوسط أدنى تصرف خلال فترة زمنية مدتها أسبوع مع التكرار عشر سنوات تدفق :

(Minimum Average 7 - Consecutive day - 10 Years Flow)

في دراسات تلوث المياه يعرف تدفق الجفاف أو الندرة عادة بأنه متوسط أدنى تصرف خلال فترة زمنية واحد أسبوع مع فترة تكرار عشر سنوات.. وهذا ما يسمى أدنى متوسط الأيام السبع المتتالية – لعشر سنوات تدفق ويرمز له (MA7 CD10 - Flow). نظرا لأن قيمة (N) لهذا التدفق هي كل ١٠ سنوات، فإنه توجد فقط نسبة إحتمال قيمتها ١٠% نحو حدوث جفاف أشد قوة في أي عام. بمعنى آخر، فإن الاحتمال سيكون ٩٠% أن أدنى تصرف أسبوعي في المجرى سيكون أكبر من (MA7 CD10). وهذا يعتبر عموما لتوفير مخاطر مقبولة بخصوص مقاومة تلوث المياه حيث يستخدم (MA7 CD10) لحساب التصميم.

عند توفر تسجيلات لسنوات كثيرة من تصرف المجرى المائي فإنه يمكن استخدام طريقة إحصائية تسمى تحليل التكرار أو التردد (Frequency Analysis) وذلك لتقدير الفترات الزمنية للعودة أو لتكرار حالات الجفاف. نفس الطريقة يمكن استخدامها لتعيين ترددات أو العودة للعواصف الممطرة من واقع تسجيلات الترسيبات والفواصل الزمنية لحدوث ذلك. تعتبر بيانات أزمنة العودة من البيانات الهامة للمصمم بما يتطلب كيفية تعيين هذه البيانات.

لتوضيح الطريقة، سيتم تناول مثال مبسط لتعيين تدفقات حالة الجفاف في المجرى.

في المثال الآتي : تستخدم فقط ٥ سنوات لتسجيلات التصرف. في التطبيق العملي يلزم توفر تسجيلات لفترات زمنية أطول للحصول على نتائج ذات معنى، ولكن لأغراض التوضيح ولإظهار الامتداد بعد فترة التسجيل فيتم تناول المثال التالي:

مثال :

الآتي بيانات مسجلة عن تدفق مجرى مائي، قدر أدنى متوسط الأيام السبعة المتتالية لخمس سنوات تدفق (MA7 CD5).

أدنى – ٧ أيام

العام	متوسط التصرف م٣/ث
١٩٨٠	٤,٤
١٩٨١	٢,٨
١٩٨٢	٤,٠
١٩٨٣	٣,٤
١٩٨٤	٥,٢

الحل :

أولاً، أعد ترتيب بيانات التدفق فى شكل متناقص للقيمة الدرجة (قيمة – m) لكل تدفق، مع البدء بواحد ثم الزيادة بواحد على التوالى. يقدر الاحتمال لملاحظة التدفق المساوى أو الأعلى فى أى عام قسمة الدرجة (m) على عدد السنين للتسجيل+ (n + 1) فى هذا المثال n = 5. فى المعادلة من الاحتمالات:

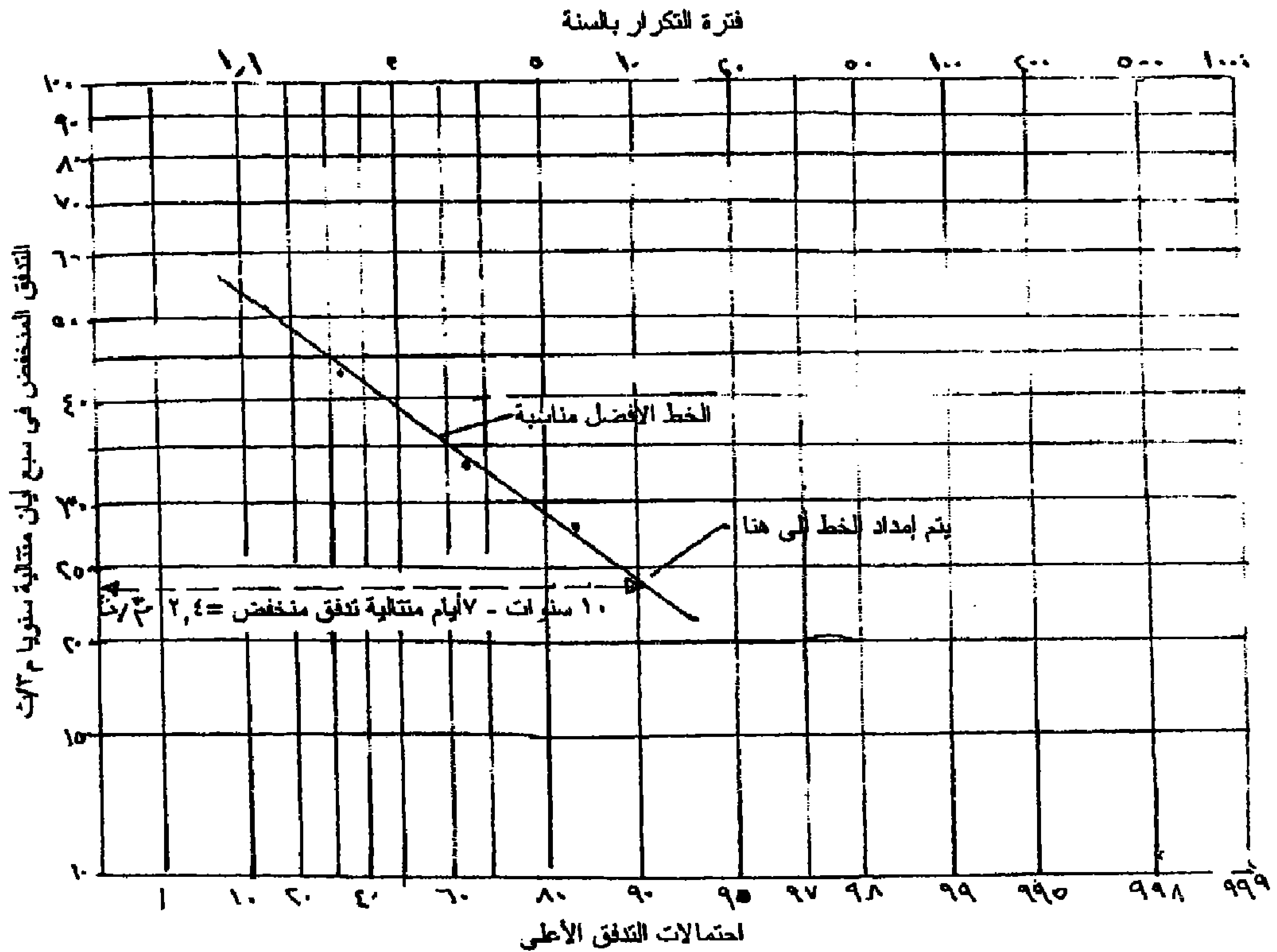
$$\frac{m}{(n+1)} = P$$

لذلك يكون عندنا

التدفق المنخفض م٣/ث	الدرجة (m)	الاحتمالات (P)
٥,٢	١	٦/١ = ٠,٦٧
٤,٤	٢	٦/٢ = ٠,٣٣٣
٤,٠	٣	٦/٣ = ٠,٥٠٠
٣,٤	٤	٦/٤ = ٠,٦٦٧
٢,٨	٥	٦/٥ = ٠,٨٣٣

عادة يتم توقيع البيانات الهيدرولوجية على نوع خاص من ورق الاحتمالات اللوغاريتمية (Logarithmic Probabity paper). يتم توقيع النقط عادة كخط مستقيم أو قريباً منه. التدفقات المنخفضة والاحتمالات المقابلة لها فى هذه المسالة وقعت على الشكل

(٣/١٥). تم رسم الخط المستقيم الأكثر ملاءمة خلال النقط الموقعة ثم تم امتداده حتى قيمة احتمال ٩٠%. وهذا يوضح معدل التدفق على المحور الرأسي للمخطط الذى سوف يزداد تسعة أضعاف من عشرة فى أى سنة تالية. على العكس احتمالات ملاحظة التدفق المنخفض (الجفاف الأكثر شدة) هو ١٠%. هذا التدفق لذلك يمثل تدفق (MA7CD10). كما هو موضح فى الشكل (٣/١٥) فإن (MA7 CD 10) لهذا المجرى (المبنى على خمس سنوات المحدودة جداً من التسجيل) يقدر عند ٢,٤ م٣/ث.



شكل (٣/١٥) يستخدم ورق لوغاريتم الاحتمالات لتقدير تدفق الجفاف (MA7CD10) فى مجرى أو نهر

٦- الخزانات : (Reservoirs)

عندما يكون تدفق المجرى المائى غير كافى لتحقيق الإمداد بالمياه وخاصة فى فترات الندرة أو الجفاف، فإنه يمكن بناء خزان للتغلب على هذه المشكلة. الخزان يحقق تساوى التدفق فى المجرى المائى ويحتجز الزائد من التدفقات أثناء فترة المطر الغزير للاستخدام أثناء فترات انخفاض التدفق فى المجرى. الخزان الذى يعمل أساساً للإمداد بالماء يسمى

خزان الحفظ (Conservation Reservoir). الخزان من هذا النوع يتم إنشاؤه على موقع طبيعي له طبوغرافية مناسبة وذلك ببناء سد على المجرى المائى، بما يسمح بتكوين بحيرة صناعية.

خزانات الحفظ عادة ضخمة وتوفر طاقة لفترة زمنية طويلة من المناخ الجاف. الفيضان وإغراق الأرض بالبحيرة الصناعية يمكن أن يكون له تأثيرات بيئية واجتماعية كبيرة، والتى يجب أن تراعى بالإضافة إلى الاعتبارات الفنية والاقتصادية للمشروع.

وبسبب العوامل البيئية والاقتصادية، فإنه من غير المناسب بناء السد لسبب واحد فقط مثل الإمداد بالمياه. الخزانات توفر فى وقت واحد هذا وكذلك احتياجات أخرى مثل التحكم فى الفيضانات، والطاقة الهيدروكهربية، والاستجمام وهذه تسمى الخزانات متعددة الاغراض. أنواع أخرى من الخزانات تشمل خزانات الحفظ والتوزيع لتوزيع المياه، وخزانات الحجز للتحكم فى مياه العواصف الممطرة.

الطاقة التخزينيه لخزان كبير يعبر عنها عادة بالمليار متر مكعب. صرف الخزان يمثل كمية المياه التى يمكن أن يوفرها الخزان خلال فاصل زمنى معين بدون أن يجف. العلاقة ما بين إنتاجية الخزان وطاقته التخزينية هى العامل الهام فى تصميمه.

طبقاً لتقرير حديث صادر من المؤتمر الدولى للسدود، فإنه يوجد حوالى ٨٠٠٠٠٠ سد فى العالم، من بين هذه حوالى ٤٥٠٠٠ تعتبر سدوداً عالية أكثر من ١٥ متر ارتفاع أو ذات طاقة أكثر من ٣ مليون متر مكعب. (حوالى نصف السدود الكبيرة فى العالم تم بناؤه لأغراض الرى أساساً). ويعتبر السد ذو المجارى أو الشعب الثلاث على نهر يانجنيز فى الصين الذى صمم أساساً للتحكم فى الفيضان وتوليد الطاقة الكهربية، أكبر سد فى العالم. ولكن لسوء الحظ فإنه عندما يمتلئ الخزان فإن الماء خلف السد العالى بارتفاع ١٨٠ متر يسبب غرق كثير من الأراضى والمتاع بما يسبب هجرة كثير من الناس وترك منازلهم.

مخطط التجميع الهيدرولوجى : (Summation Hydrograph)

لتعيين الحجم المطلوب لخزان الحفظ، فإنه يجب استخدام التسجيلات لتدفقات المجرى لسنين طويلة. عادة تصمم خزانات الحفظ لتوفير التصرف المطلوب أثناء الجفاف الذى يساوى أسوأ حالات الجفاف طبقاً للتسجيل. مخطط التجميع الهيدرولوجى أو الذى يسمى أحياناً مخطط الكتلة (Mass Diagram)، هو وسيلة تخطيطية مناسبة لتعيين حجم التخزين المطلوب. هذه التقنية موضحة فى المثال التالى.

مثال :

خزان حفظ يتطلب توفير سحب منتظم لتصرف ٦٠ مليون لتر فى الشهر بـدون أن يحدث له استنزاف. تسجيلات تدفق المجرى للسنوات ذات أدنى تدفق تم تلخيصها علـى أساس شهرى كالآتى :

الشهر	تدفق المجرى بالمليون لتر فى الشهر
يناير	٦٠
فبراير	١٠٠
مارس	١٨٠
إبريل	٢٠
مايو	١٥
يونيو	١٥
يوليو	٥
أغسطس	١٥
سبتمبر	١١٥
أكتوبر	٢٠٠
نوفمبر	١٨٠
ديسمبر	١٠٠

حدد الحجم المطلوب للخزان

الحل :

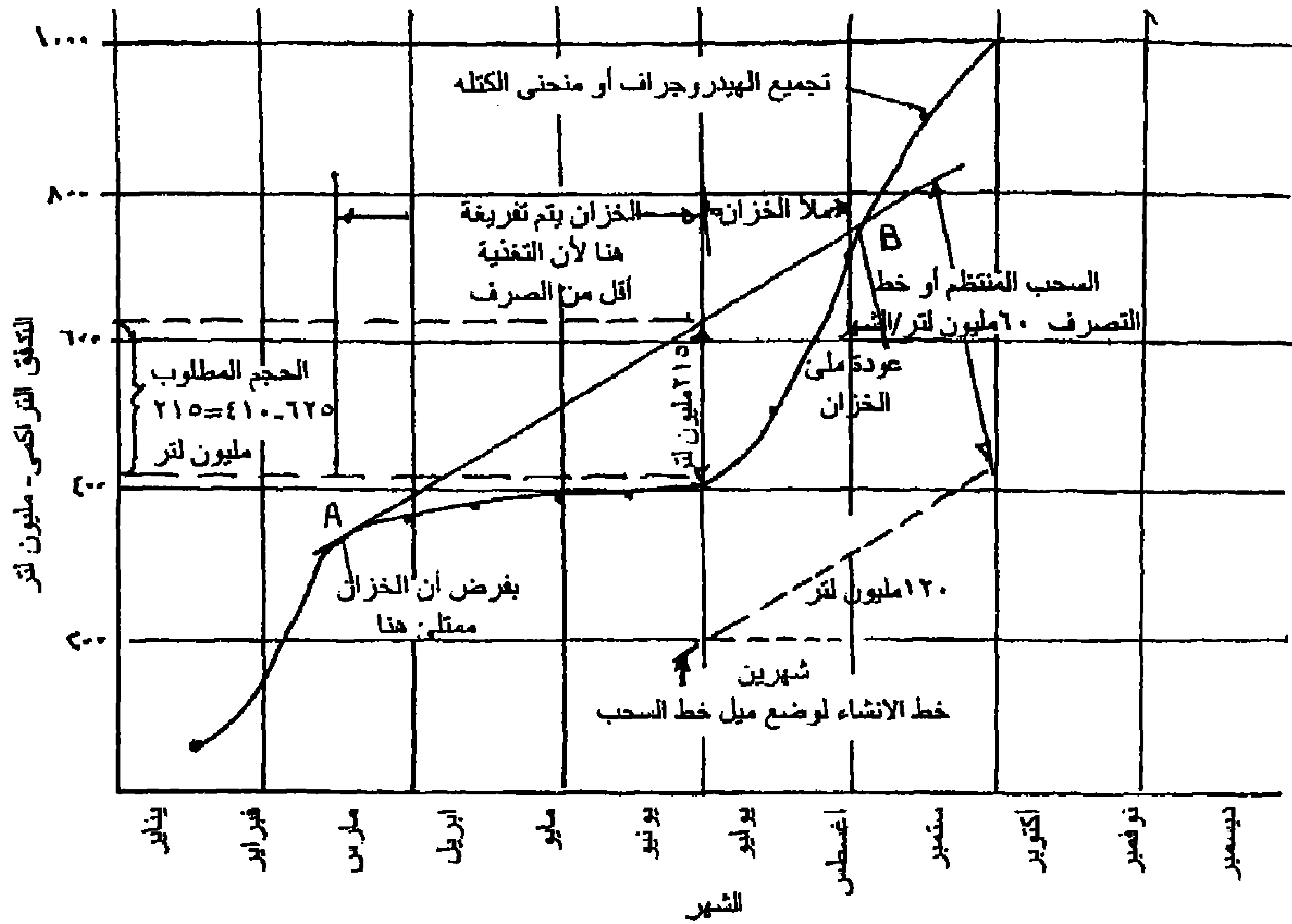
أولاً، عين تدفق المجرى التراكمى الداخل إلى الخزان على أساس شهرى.

فمثلاً، فى شهر فبراير التدفق التراكمى سيكون ٦٠ + ١٠٠ = ١٦٠ مليون لتر، وفى شهر مارس سيكون ١٦٠ + ١٨٠ = ٣٤٠ مليون لتر. مجرد إضافة التدفقات لكل شهر. جهز جدول التدفقات التراكمية الشهرية كالآتى :

الشهر =	يناير	فبراير	مارس	إبريل	مايو	يونيو	يوليو
التدفق التراكمى مليون/لتر =	٦٠	٦٠	٣٤٠	٣٦٠	٣٧٦	٣٩٠	٣٩٥

الشهر =	أغسطس	سبتمبر	أكتوبر	نوفمبر	ديسمبر
التدفق التراكمى مليون/لتر =	٤١٠	٥٢٥	٧٢٥	٩٠٥	١٠٠٥

والآن يمكن توقيع التدفقات التراكمية الشهرية على مخطط كما هو موضح فى الشكل (٣/١٦). هذا المخطط هو نتيجة توقيع التدفقات التراكمية مع الوقت.



شكل (٣/١٦) تجمع الهيدروجراف للمثال السابق

ميل مخطط التجميع الهيدرولوجى أو منحنى الكتلة (Mass Curve) يمثل معدل التدفق الداخل فى الخزان. لاحظ أن المنحنى مستقيم جداً أثناء شهور الصيف بسبب انخفاض تدفق المجرى خلال تلك الفترة ويمكن تمثل التصرف أو السحب المنتظم كخط مستقيم على المخطط، فى هذه الحالة فإن خط السحب له ميل ٦٠ مليون لتر/ الشهر كما هو مبين. حيث يكون ميل منحنى الكتلة أكثر استقامة عن ميل خط السحب، فإنه يكون الماء الخارج من الخزان أكثر من الداخل إليه، والخزان يتم تفريغه. عندما يكون منحنى الكتلة (Mass Curve) أشد انحداراً عن خط السحب، فإن الماء المتدفق إلى الداخل يكون أكثر من المتدفق إلى خارج الخزان. ويكون الخزان فى حالة ملء.

ارسم خط موازى لخط السحب ومماس لخط الكتلة عند النقطة (A) فى الشكل (٣/١٦). النقطة (A) عموماً تمثل ذروة منحنى الكتلة حيث أنها متقعرة إلى اسفل. بفرض أن الخزان قد ملئ توا عند هذه النقطة، فإنه سيبدأ فى الحال فى خفض حجم الماء، بمجرد

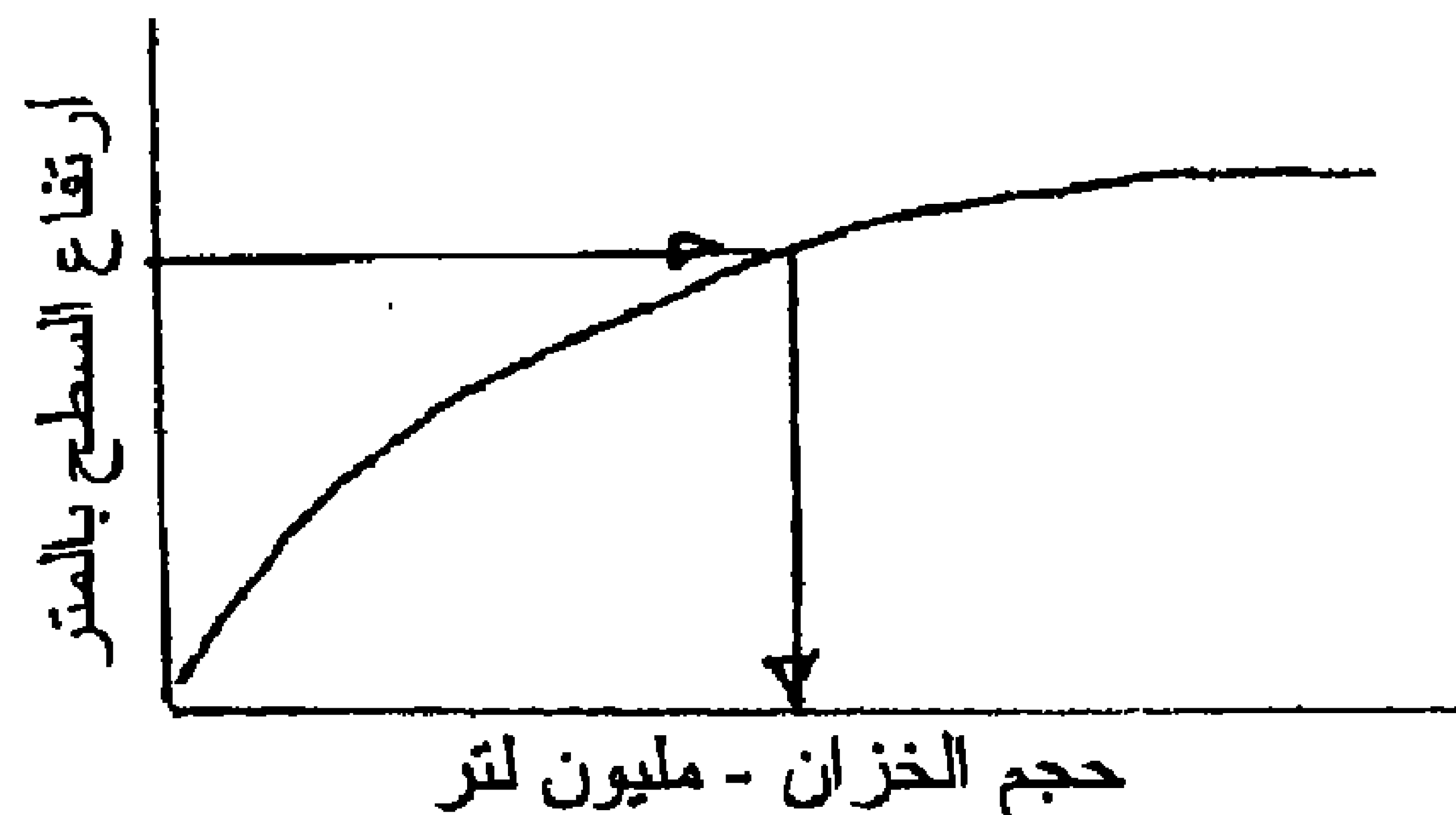
تخطى النقطة (A) فإن معدل السحب يزيد عن معدل الدخول للمياه. ولكن بعد عدة أشهر يزداد انحناء منحنى الكتلة ويزيد معدل التدفقات الداخلة عن معدل السحب، ويبدأ حجم المياه فى الزيادة. عند النقطة (B) حيث يتقاطع الخط مع منحنى الكتلة فإن الخزان يصبح عند أقصى طاقته مرة أخرى. المسافة الرأسية بين خط التصرف AB ومنحنى الكتلة تمثل حجم المياه خارج التخزين لتوفير التصرف.

فى هذا المثال أقصى مسافة رأسية تقاس لتكون ٢١٥ مليون لتر، كما فى الشكل (٣/١٥) . وهذا هو أدنى حجم تخزين مطلوب لتأكيد أن التصرف المطلوب يمكن تحقيقه.

نظراً لأن هذا الحجم ٢١٥ مليون لتر، كان قد تم تحديده لأسوا سنين الجفاف على التسجيل، يكون من المعقول فرضية أنه خلال السنين ذات الترسيبات العادية وتدفقات المجرى أن الخزان سوف يكون أكثر من مناسب لتوفير التصرف المطلوب. ولكن يظل احتمال حدوث جفاف أشد حدة. يمكن عمل تحليل التردد (Frequency Analysis) لتوفير تقديرات فترات العودة واحتمالات جفاف أكثر خطورة.

طاقة الخزان : (Reservoir Capacity)

أقصى حجم من المياه يمكن تخزينه فى خزان يعتمد على ارتفاع قناة تصريف الفائض من مياه السد المكون للخزان وعلى طبوغرافية الأرض فوق التيار للسد. بالإضافة إلى هذا الحجم الكلى، يكون من المهم معرفة العلاقة ما بين الحجم وارتفاع سطح الخزان. المخطط لارتفاع المياه مقابل الحجم يسمى منحنى طاقة الخزان أو منحنى ارتفاع التخزين (Reservoir Capacity Curve or Elevation Storage Curve). أحد أشكال منحنى الطاقة موضح فى الشكل (٣/١٧). باستخدام منحنى مثل هذا، فإنه يمكن تعيين حجم الماء فى الخزان عند وقت معين بمجرد قياس الارتفاع لإمداد المياه.



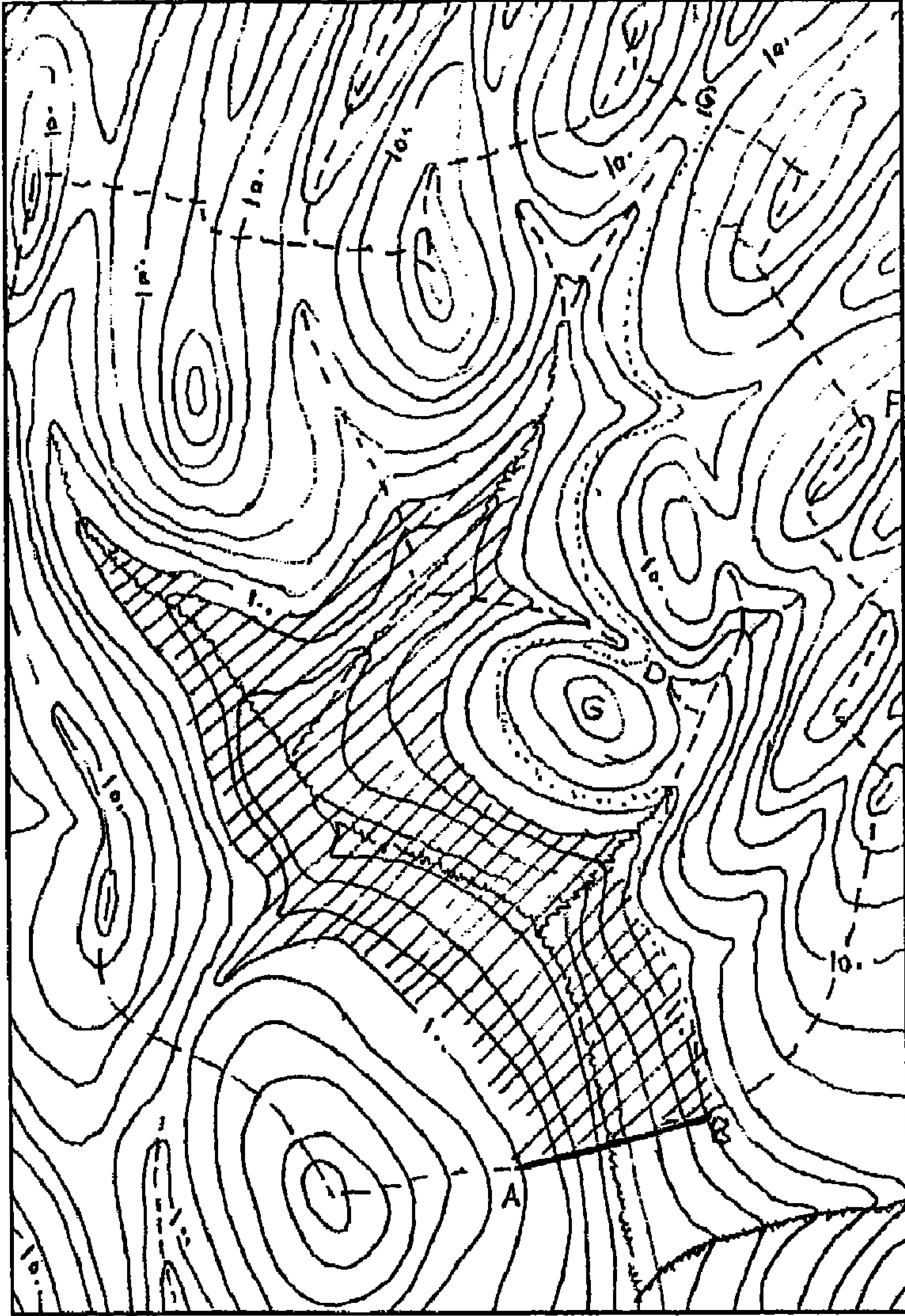
شكل (٣/١٧) منحنى لسعة الخزان

قياس حجم الخزان : (Measuring Reservoir Volume)

يمكن تقدير حجم الخزان من الخريطة الطبوغرافية. فمثلاً في الشكل (٣/١٨) إذا كان ارتفاع قناة التصريف للفائض من مياه السد (Spillway) عند (AB) ليكون ١٠٠ قدم، فإن الماء فى الخزان سوف يغطى المساحة المحصورة بالكنتور ١٠٠ قدم، كما هو موضح بالخطوط المهشرة. حيث أن الفاصل الكنتورى هو ١٠ قدم على الخريطة، فإن إجمالى حجم المياه التى يحتويها الخزان يمكن تقديرها بعدة طبقات بسمك ١٠ قدم مفصولة بأسطح المنسوب عند كل خط كنتور. عندئذ كل طبقة سوف تكون شكل صلب محاطة من أعلى ومن أسفل بواسطة أسطح مستوية متوازية. المساحة عند كل من هذه الأسطح يمكن قياسها بواسطة جهاز المقياس (Planimeter) وذلك بتعقب كل من خطوط الكنتور. بضرب متوسط المساحة لكل اثنين من المساحات بالسمك ١٠ قدم للطبقة يمكن عندئذ تقريب حجم كل طبقة. مجموع الأحجام، زائد تقريب الحجم أسفل أدنى كنتور، يوفر تقديراً لإجمالى حجم الخزان.

كل المجارى المائية والأنهار تحمل مواد صلبة عالقة فى شكل حبيبات إلى حد ما. هذه الحبيبات تحاول أن ترسب بفعل الجاذبية فى الخزان، مكونة رواسب راكدة. كل الخزانات تصبح ممتلئة بالرواسب ولذلك فإن لها عمر تصميمى محدود أو فترة زمنية والتى خلالها يمكن أن تحقق الغرض من إنشائها.

الشكل (٣/١٩) يوضح تراكم الرواسب خلف السد. رغم أن ترسيبات الخزان لا يمكن منعها، إلا أنه يمكن التحكم فيها أو إبطائها. البوابات أسفل قمة الخزان التى تعمل على تصرف الرواسب قبل إعطائها الفرصة للترسيب نحو القاع.



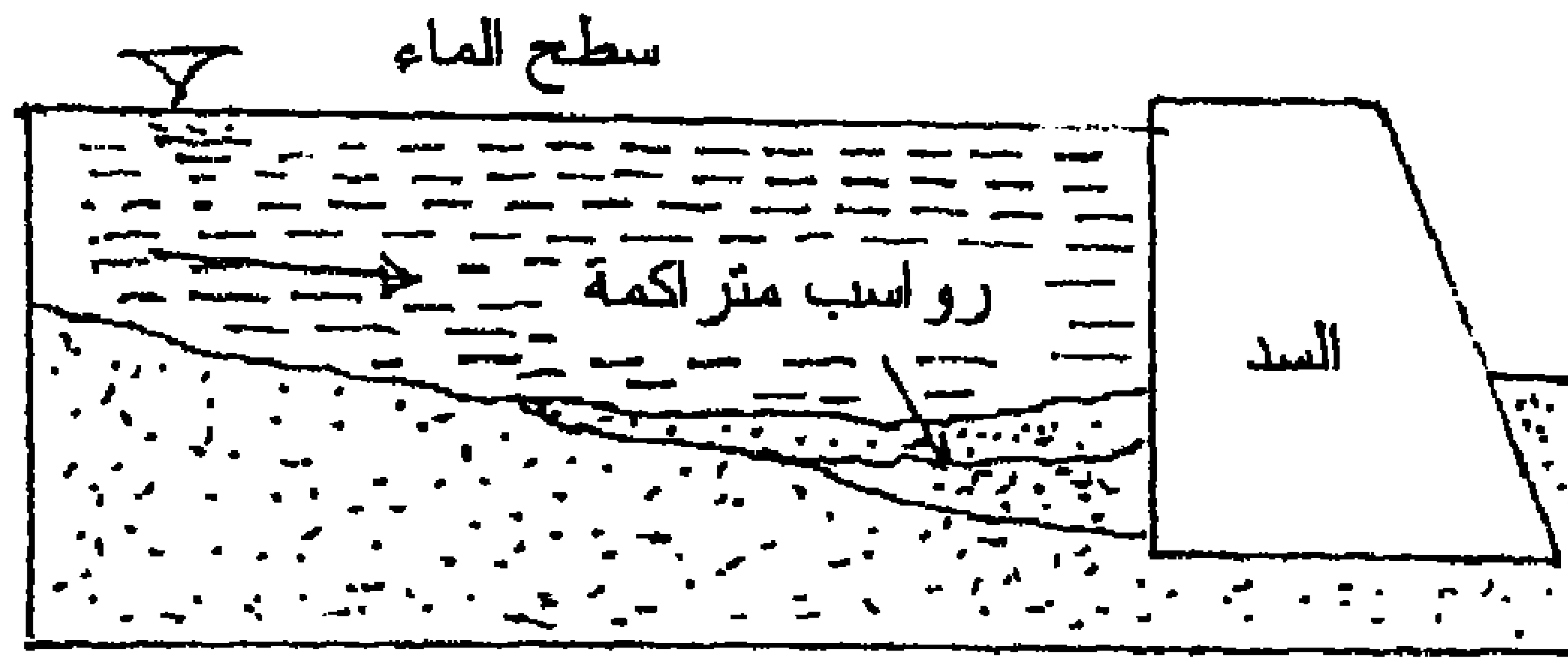
شكل (٣/١٨) السد عند AB يكون خزان بارتفاع ١٠٠ قدم الموضح بالخطوط المتقاطعة الجسر الذى يحدد حدود الخزان موضح بالخطوط المشهرة.

الآثار البيئية :

بالإضافة إلى انخفاض العمر التصميمى للخزان فإن تراكم الترسيبات خلف السد يمكن أن يسبب آثار بيئية غير مرغوب فيها على البيئة الحياتية تحت التيار. المثال الواضح لهذا، هو سد أسوان العالى فى مصر، الذى أقيم على نهر النيل للتحكم فى الفيضانات ولتوفير الطاقة الكهربية. الفقد فى الطفل الرملى (Slit) ومواد الغذاء للنبات

التى كانت ترسب فى الحقول تحت التيار بعد الفيضان أحدثت اضطراباً فى الحاصلات الزراعية فى وادى النيل.

الآثار البيئية الأخرى للسدود تشمل التأثيرات الضارة على نوعية المياه ودرجة حرارة المياه وزيادة النيتروجين المذاب بما كان السبب فى التأثير على الثروة السمكية فى كثير من بلاد العالم.



شكل (٣/١٩) الترسيبات فى الخزان تقلل من طاقته فى تخزين المياه.

مع الوقت يصبح الخزان ممتلئ بالرواسب.

السد العالى بأسوان وبحيرة ناصر :

أ - السد :

بنى السد العالى على مرحلتين تم فى الأولى تحويل مجرى النهر وبناء سدين بعرض المجرى لكشف قاع النهر الذى كان سيبنى عليه جسم السد - وقد انتهى بناء هذين السدين وتحويل مجرى النهر فى مايو سنة ١٩٦٤. وفى المرحلة الثانية تم بناء السد نفسه وهو صرح يبلغ عرضه عند قاعدته ٩٨٠ متراً يتكون من نواة من الطفل تغطيها طبقات من ركام الجرانيت والرمال، تدعمها ستاره أفقية من الرمال الناعمة المانعة لتسرب المياه وقد أدمج فى جسم النواة سد التحويل الأمامى والخلفى اللذان كانا قد بنيا بغرض تحويل مجرى النهر الشكل (٣/٢٠). ويبلغ ارتفاع السد ١١١ متراً فوق قاع النهر (الذى يبلغ منسوبه ٨٥ متراً فوق سطح الأرض) وعرضه حوالى ٤٠ متراً عند القمة ويرسو السد العالى فوق ستارة رأسية لا تنفذ منها المياه بعمق مائتى متر من أسفل النواة حتى صخر الأساس الجرانيتى. ويبلغ طول السد عند قمته ٣٦٠٠ متر منها ٥٢٠ متر بين ضفتى النيل ويمتد الباقى على هيئة جناحين على جانبى النهر، وبلغ طول الجناح الأيمن ٢٣٢٥ متر على الضفة الشرقية وطول الجناح الأيسر ٧٥٥ متراً على الضفة الغربية. وتقع محطة توليد القوى على الضفة الشرقية للنيل معترضة قناة التحويل التى تزود التربينات

بالمياه خلال ستة أنفاق متوسط طول الواحد منها حوالى ٢٨٢ متراً صممت بحيث تسمح لمرور أقصى تصريف للقناة بداخلها، وهو حوالى ١١٠٠ متر مكعب فى الثانية (حوالى مليار متر مكعب فى اليوم) - وبمحطة توليد الكهرباء التى بنيت عند مخرج الأنفاق ١٢ وحدة توليد مائية قدر كل منها ١٧٥,٠٠٠ كيلوات أى أن القدرة الإجمالية للمحطة هى ٢,١ مليار كيلوات تنتج طاقة سنوية قدرها ١٠ مليار كيلوات ساعة.

شكل (٣/٢٠) مقطع عرضى فى السد العالى

الخزان (بحيرة ناصر) : شكل (٣/٢٠)

بدأ الخزان فى سنة ١٩٦٤ عندما أدمج سد التحويل ناحية أعلى النهر فى جسم السد العالى. وقد صمم الخزان بحيث يكون أقصى ارتفاع لمياهه هو ٩٨ متراً فوق قاع النهر (أو ١٨٣ متراً فوق سطح البحر) وعند هذا المنسوب يمتد الخزان إلى مسافة ٥٠٠ كيلو متر حتى آخر الشلال الثانى مكوناً بحيرة هائلة تغطى النوبة المصرية بأكملها وجزءاً من النوبة السودانية بعرض يبلغ متوسطه حوالى ١٠ كيلو مترات. ويزيد هذا العرض عند مصبات الوديان والأخوار التى يمتد فيها. ومساحة الخزان عند منسوب امتلائه ٦٥٠٠ كيلو متر مربع وحجمه عند هذا المنسوب ١٦٨ مليار متر مكعباً منها ٣١ مليار تقع تحت منسوب ١٤٥ متر، فوق سطح البحر، وهى محجوزة للتخزين الميت أى لتجميع الطمى الذى سيحمله النهر إلى البحيرة و ٩٠ مليار متر مكعباً للتخزين الحى القابل للاستخدام السنوى بين منسوبى ١٤٥، ١٧٥ متراً فوق سطح البحر أما ما زاد عن ذلك فهو فضار للوقاية ولاستخدامه فى سنوات الفيضان الواطئة - ويعرف الخزان باسم بحيرة ناصر فى الجزء المصرى وباسم بحيرة النوبة فى الجزء السودانى على أن معظم المؤلفين يسمون الخزان بحيرة ناصر عند الكلام عن الخزان كله.

وقد تم تعديل المنسوب الأعلى للخزان بعد بناء السد وإتمام رفع الخرائط الطبوغرافية التفصيلية لمنطقة السد وخفضه إلى ١٧٨ وذلك بسبب أن منطقة وادى توشكى التى تقع على الضفة الغربية للبحيرة بحوالى مائتى كيلو متر إلى الجنوب من أسوان تقل فى ارتفاعها عن المنسوب الأصلى الذى صمم الخزان عليه بما كان سيسبب قرب المياه منها.

٧- المياه الجوفية : (Ground Water)

كما سبق توضيحه فإن جزءاً من ترسيبات الأمطار التى تقع على الأرض قد تتسرب من السطح إلى أسفل خلال التربة بفعل قوى الجاذبية وتصبح ما هو معروف بالمياه الجوفية. المياه الجوفية هى جزء بالغ الأهمية من الدورة الهيدرولوجية. حوالى نصف السكان فى الولايات المتحدة تحصل على مياهها من المصادر الجوفية، حيث توجد المياه الجوفية أكثر من المياه السطحية. قد يكون ضخ المياه الجوفية أحياناً غير اقتصادى فى الاستخدام، ولكن فى السنين الأخيرة زاد تلوث المياه الجوفية نتيجة عدم التخلص المناسب من المخلفات بما زاد من المشكلة.

بعد الترشيح الأولى للماء خلال سطح التربة، فإنها تتسرب إلى أسفل خلال طبقة من التربة تسمى منطقة التهوية (Zone of Aeration). وهذه طبقة من التربة حيث الفراغات الصغيرة بين حبيبات التربة الصلبة تكون ممتلئة جزئياً بالهواء وكذلك بالماء مع استمرار الماء فى التسرب إلى أسفل، فإنه يصل إلى منطقة التشبع (Saturation Zone) وهذه طبقة من التربة أو الصخر حيث كل الفراغات فى التربة أو التشققات فى الصخر تكون ممتلئة تماماً بالماء. ولكن رغم أن هذه الفراغات أو التشققات الصخرية صغيرة نسبياً، إلا أن الحجم الكلى للمياه الجوفية ضخم ذلك لأن التكوينات الجيولوجية التى يمكنها إحتجاز الماء متسعة وكبيرة جداً. المياه الجوفية يمكن اعتبارها خزان ضخم تحت الأرض. خط التقسيم بين منطقة التهوية ومنطقة التشبع يسمى خط المياه (Water Table) أو منسوب المياه الاستاتيكى. الحفر أو البئر بالعمق الكافى لاختراق منطقة التهوية سوف يمتلئ بالماء حتى منسوب ارتفاع خط المياه. وهذا موضح فى الشكل (٣/٢١).

ارتفاع خط المياه ليس ثابتاً، فهو يتوقف على الظروف المناخية، ويتغير موسمياً. خط المياه عموماً يكون أقرب إلى سطح الأرض فى العيون أو أثناء فترات سقوط الأمطار ويزداد عمقاً أثناء الجفاف. يمكن كذلك خفض خط المياه بالضخ كما سيتم توضيحه فيما بعد.

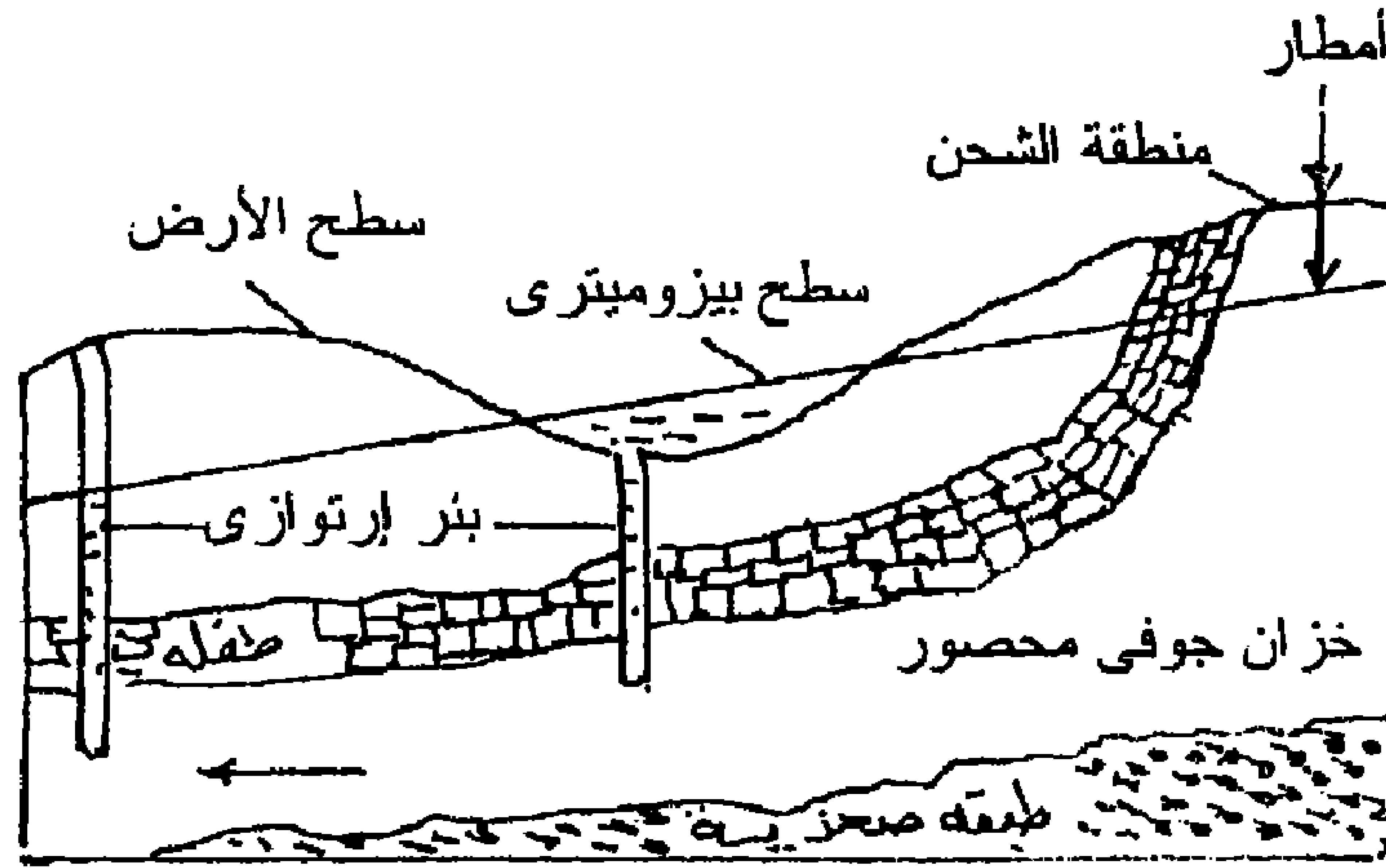
الخزانات الجوفية : (Aquifers)

الخزان الجوفى هو طبقة من التربة أو من الصخر التى يمكن أن يتحرك خلالها الماء الجوفى بحرية نسبيا. بمعنى آخر هو الطبقة الجيولوجية التى يمكنها نقل المياه بكميات كافية لتوفير الاستخدام الاقتصادى من إمدادات المياه الجوفية. الخزانات الجوفية من الزلط والرمل ذات المسام والفراغات بين الحبيبات تنتج مياه أكثر مقارنة بالطفل أو الطفل الرملي الغير مسامى. التكوينات الصخرية قد تحتوى على تشققات كافية أو تصدعات بما يمكن من إنتاج كميات كافية من المياه.

شكل (٣/٢١) التربة أسفل خط المياه تكون مشبعة بالماء

الخزان الجوفى المحصور بين طبقتين غير مساميتين والتى تعيق تدفق المياه يسمى خزان جوفى محصور أو خزان جوفى إرتوازى. المياه فى الخزان الجوفى المحصور تكون تحت ضغط هيدروستاتيكى. وهى ليس لها خط مياه حر.الخط التصورى الذى يمثل السطح البيزومترى يمكن استخدامه لتوضيح الارتفاع الذى عنده سيرتفع الماء فى البئر الذى يخترق الخزان الجوفى. وهذا موضح فى الشكل (٣/٢٢).

منطقة التغذية (إعادة الشحن) للخزان الجوفى هى حيث تتسرب مياه الأمطار لزيادة المياه التى تتدفق فى الخزان الجوفى. كما هو موضح فى الشكل (٣/٢٢) منطقة الشحن أو التغذية يمكن أن تكون بعيدة عن نقطة الاستخدام الحقيقية للماء. وهذه حقيقة هامة فى التخطيط لاستخدامات الأراضى والتنمية الحضرية. تغطية منطقة أو مساحات الشحن بالرصف وخلافة سيعمل على إيقاف عملية التسرب ويقلل كمية المياه التى كان يمكن سحبها من الخزان الجوفى.



شكل (٣/٢٢) الماء فى خزان جوفى محصور أو إرتوازى يكون تحت ضغط هيدروستاتيكى.

الماء فى البئر الارتوازى يرتفع إلى مستوى السطح البيزومترى.

تدفق المياه الجوفية : (Ground Water Flow)

المياه الجوفية تكون فى حالة ثابتة من الحركة خلال المسام والتشققات فى الخزان الجوفى التى توجد فيها. خط المياه نادراً ما يكون مستوياً، فهو عموماً يتبع شكل سطح الأرض. تدفقات المياه الجوفية فى اتجاه أسفل المرتفع لميل خط المياه كما هو موضح فى الشكل (٣/٢٣). أحياناً يتقاطع خط المياه مع نقط منخفضة من الأرض، حيث تتسرب المياه إلى الخارج فى شكل عيون، بحيرات، أو مجارى مائية. كما تم مناقشة قاعدة التدفق المستمر فى المجرى المائى أن تدفقه يتواصل ويستمر بفعل تدفقات المياه الجوفية.

معدل حركة المياه الجوفية بفعل الجاذبية عادة يكون منخفضاً جداً. ويحده بمقاومة الاحتكاك للتدفق فى التربة والفتحات فى الصخور. تعتبر السرعة ١٨ متراً فى الدقيقة مرتفعة حتى فى التربة الرملية والزلطية. فى التربة الطفلية الصماء يمكن أن يكون التدفق منخفضاً حتى جزء من المتر فى العام.

سرعة تدفق المياه الجوفية هى دلالة لميل خط المياه ونفاذية التربة.

هذه العلاقة يعبر عنها بمعادلة تسمى قانون دارسى كالآتى :

$$V = K \times S$$

حيث : V = سرعة التدفق مليمتر فى الثانية.

K = معامل النفاذية، مليمتر/الثانية.

S = ميل خط المياه.

النفاذية هى خاصية المادة المسامية التى تسمح لها بنقل الماء ولها نفس الوحدات مثل السرعة. ميل خط المياه هو السقوط فىالارتفاع مقسوماً على المسافة الأفقية، وهو رقم ليس له وحدات قياس (Dimention Less).

قانون دارسى هو الأساس لتحاليل رياضية أكثر تعقيداً على هيدروليكا المياه الجوفية. إذا كانت حالات الخزان الجوفى معلومة، فإنه يمكن استنتاج بعض الأشياء مثل كمية المياه التى يمكن ضخها خارج البئر. ولكن حدود الرياضيات بما فيها قانون دارسى لتقدير حالات المياه الجوفية تتطلب ذكرها. لتطبيق المعادلة يكون من الضرورى فرضية أن الخزان الجوفى عبارة عن مادة متجانسة والتى يمكن وصفها بمعامل واحد (K)، فى الوقع فإن ترسيبات التربة الطبيعية أو صخور الخزان الجوفى نادراً ما تكون متجانسة على مساحات كبيرة. ورغم هذا فإن قانون دارسى له قيمة فى عمل التقدير الأولى لمعدل تحرك المياه الجوفية. القيم التقديرية للمعامل (K) موضحة فى الجدول (٢/٣)، وتطبيقاته فى المثال التالى.

جدول (٢/٣) معامل النفاذية لأنواع التربة :

نوع التربة	K مليمتر / الثانية
زلط	١٠ إلى ٤٠
رمل	٠,٠١ إلى ١٠
الغرين (الطمى) الرملى	٠,٠٠١ إلى ٠,٠٢
الطمى (الغرين) (Silt)	٠,٠٠٠١ إلى ٠,٠٠٥
الطفل (Clay)	$١٠^{-٦}$ إلى $١٠^{-٨}$

مثال :

أحسب سرعة تدفق المياه الجوفية فى خزان جوفى له معامل نفاذية (K) = ٠,٠١ مليمتر/الثانية. ميل خط المياه بمعدل واحد متر على مسافة ٢٠٠ متر.

الحل :

يتم حساب ميل خط المياه كالآتى : S = ١ متر ÷ ٢٠٠ متر = ٠,٠٠٥

السرعة V = K × S = ٠,٠١ × ٠,٠٠٥ = ٠,٠٠٠٠٥ مليمتر/الثانية

أو V = ٠,٠٠٠٠٥ مليمتر فى الثانية × ٣٦٠٠ ثانية فى الساعة × ٢٤ ساعة فى اليوم = ٤٢٢ مليمتر فى اليوم = ٠,٤٣ متر فى اليوم.

الآبار : (Wells)

الطريقة العادية لسحب المياه الجوفية هى باختراق الخزان الجوفى بواسطة بئر عمودى ثم ضخ الماء إلى السطح. طرق أخرى تشمل العيون الطبيعية أو قاعة الرشح المستطيلة (Infilteration Gallery) أو سرداب الترشيح وهذا يتكون أساساً من عدة مواسير أفقية متشعبة إلى الخارج من ماسورة مركزية ذات قطر كبير أو قد تكون مواسير التجميع بأى شكل هندسى وتكون المواسير الأفقية مثقبة فى نصف قطرها العلوى.

الآبار يمكن أن تنشأ بطرق مختلفة، طبقاً لعمق وطبيعة الخزان الجوفى. بئر الحفر هو عبارة عن حفر ضحل حتى عمق حوالى ١٠ أمتار والذى يخترق خزان جوفى غير محصور، ويكون عادة مبطن بالطوب أو الأحجار لتثبيت الحوائط الجانبية. آبار الحفر ليست مصادر مياه مستقلة بسبب التغيرات الموسمية فى عمق خط المياه وتعرض البئر للتلوث. ويلاحظ أن هذه الآبار مازالت تستخدم فى بعض المناطق الريفية والزراعية، ولكن المواصفات الصحية الحديثة تمنع إنشاءها الذى يكون الغرض منه الإمدادات المنزلية بالمياه.

الآبار حتى عمق ٢٠ متراً يمكن إن تنشأ فى التربة اللينة بدفع المصفاة فى الأرض. المصفاة عبارة عن مقطع من الماسورة مثقب وبنهايته وصلة عمياء قد تكون مدببة. يتم الوصول إلى العمق المطلوب بتوصيل وصلات من المواسير بالمصفاة مع دفعها لأسفل. هذا النوع من الآبار يستخدم عادة لتجفيف الحفر للإنشاءات وليس لتوفير إمدادات المياه.

الآبار العميقة، بعمق أكثر من ٤٠ متر والتى تستخدم عادة لإمدادات المياه المنزلية. وهذه يمكنها اختراق الخزان الجوفى لعمق أكبر حيث استقلالية إنتاج المياه والحصول على نوعية مياه أفضل مقارنة بالآبار الضحلة. هذه الآبار العميقة تكون عادة بقطر ٤ – ٦ بوصة (١٠٠ إلى ٣٠٠ مليمتر). وهذه يتم حفرها باستخدام تقنيات الحفر الدوارة أو بالتكسير.

دائماً يتم تبطين الآبار العميقة بماسورة معدنية تسمى القيسون (Casing) (تستخدم القيسونات أحياناً من البلاستك مثل البى فى سى). الفراغ الخارجى المحيط بالقيسون يتم ملؤه بالمونة الأسمنتية (Grouting). كلاً من القيسون ومادة التحشيه الأسمنتية تمنع تسرب المياه الملوثة من سطح الأرض أو من طبقات التربة العليا من دخول البئر وتلويث المياه.

يتم تنفيذ لحام صحى عند قمة البئر لحماية نوعية المياه. فى الخزانات الجوفية حيث تكون التربة الحاملة الغير مدمجة (مفككة)، يتم عادة وضع مصفاة بئر مثقبة عند قاع القيسون لتصفية الماء من الرمل الطفلى ومن الرمال الرقيعة. هذه الملامح الرئيسية لمكونات إنشاء البئر موضحة فى الشكل (٣/٢٤).

الطلمبات التربينية متعددة المراحل (أحد أنواع طلمبه الطرد المركزى) تستخدم عادة فى الآبار العميقة لرفع المياه. طلمبة البئر يمكن أن تعمل بمحرك كهربى أو أن تكون متصلة عند منسوب سطح الأرض بطلمبة غاطسة متصلة بنظام إدارة أو بواسطة محرك غاطس خاص متصل مباشرة بالطلمبة.

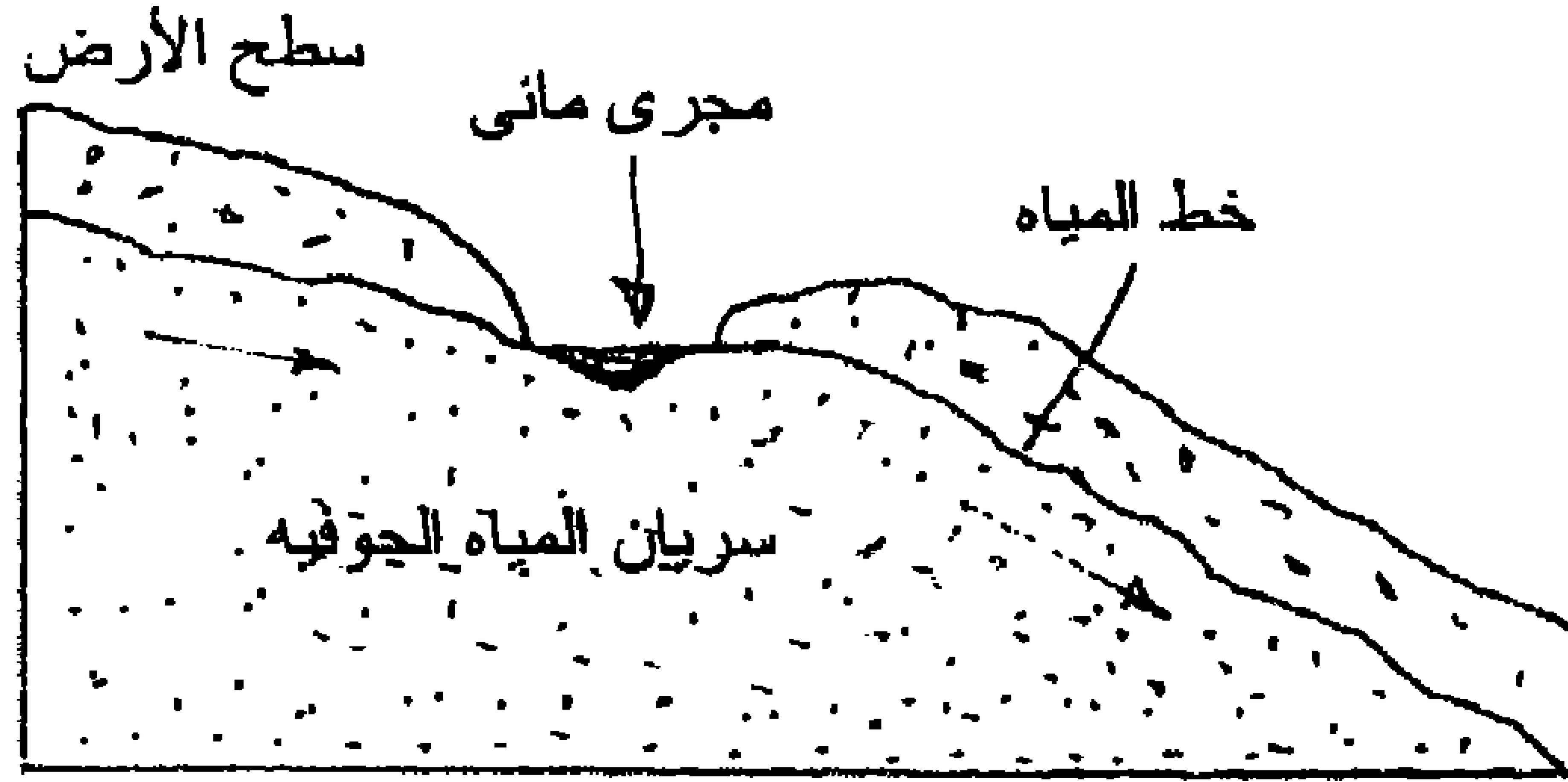
يسمى ارتفاع خط المياه فى البئر قبل الضخ بالمنسوب الاستاتيكى. عند ضخ البئر يبدأ مستوى الماء فى البئر فى الهبوط أسفل المنسوب الاستاتيكى كما هو موضح فى الشكل (٣/٢٤). الفرق فى الارتفاع بين المنسوب الاستاتيكى ومنسوب الضخ يسمى الانخفاض (Draw Down). سطح الانخفاض لخط المياه أو قمع الانخفاض (Cone of Depression) يتكون حول البئر أثناء الضخ.

مع زيادة المسافة بعيداً عن البئر فإن ميل الانخفاض يبدأ فى الاستواء، بدون تأثير ملحوظ على منسوب خط المياه الاستاتيكى. المسافة الأفقية من البئر إلى المنطقة حيث لم يتأثر خط المياه بفعل الضخ من البئر تسمى نصف القطر المؤثر للبئر (Radius of Influence). هذه المصطلحات موضحة فى الشكل (٣/٢٤).

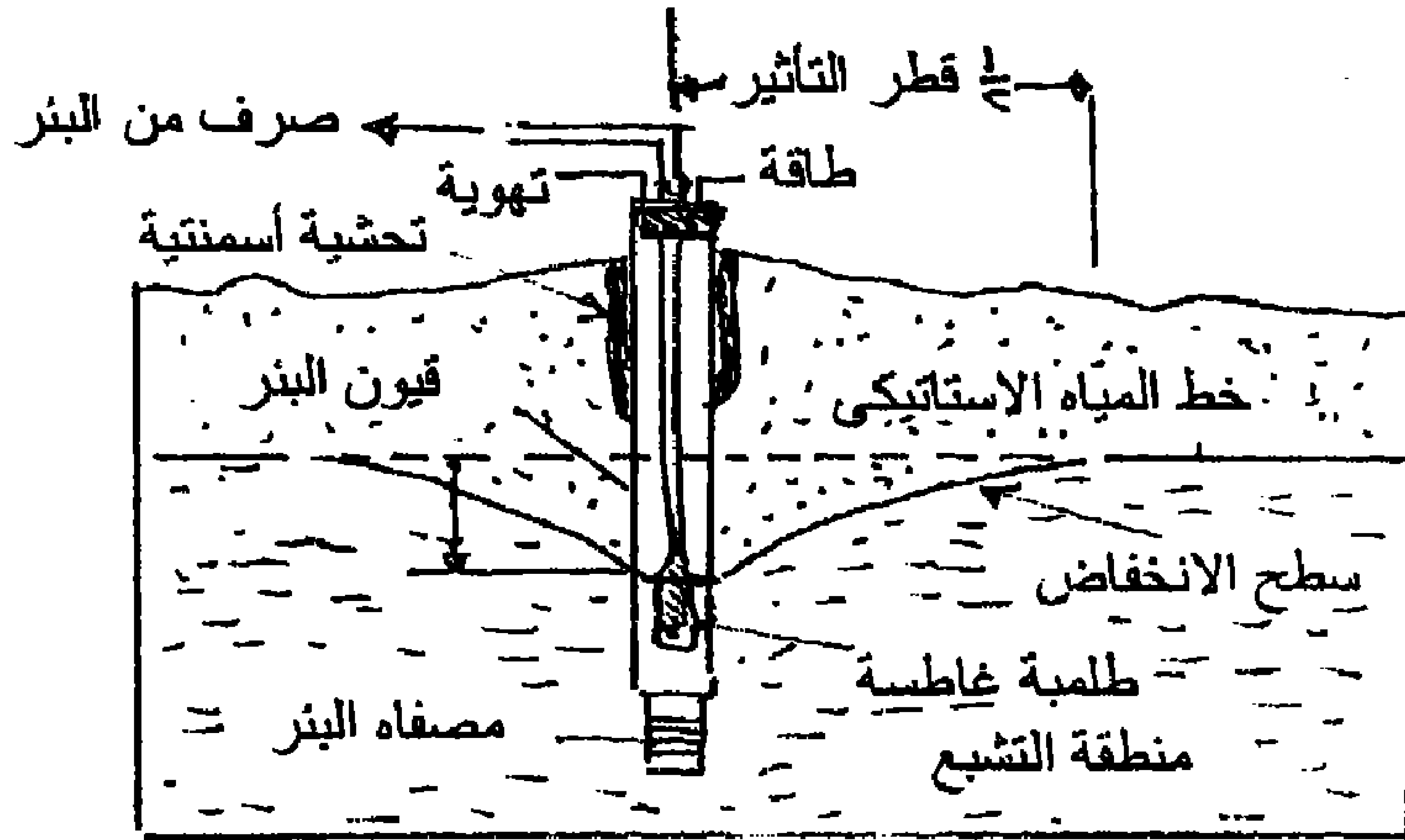
يزداد الانخفاض ودائرة التأثير (Circle of Influence) مع زيادة معدل الضخ. من هذا يتضح أنه عند الضخ يكون الانخفاض قليلاً فى حالة التربة ذات النفاذية العالية ويكون عميقاً فى حالة التربة ذات النفاذية الضعيفة. وبالمثل سيكون نصف قطر التأثير أو دائرة التأثير أكبر فى حالة التربة الحاملة الأكثر مسامية.

التصرف الآمن للبئر هو المعدل الذى يمكن عنده سحب المياه بدون الضخ الجاف للبئر. كلما زاد الانخفاض زاد التصرف. العلاقة بين التصرف والانخفاض للبئر تسمى الطاقة النوعية (Specific Capacity) فمثلاً إذا كان الانخفاض فى البئر ٥٠ متراً عندما

كان منسوب السحب ٥٠٠ متر مكعب فى الساعة، فإن الطاقة النوعية تكون ٥٠٠ ÷ ٥٠ = ١٠م٣/الساعة لكل متر من الانخفاض. إذا كان الانخفاض ٢٥ متراً بدلاً من ٥٠ متراً فإنه يمكن تقدير تصرف البئر ليكون ١٠ م٣/الساعة/المتر × ٢٥ متـــراً = ٢٥٠ متـــراً مكعب/الساعة. قطر البئر له تأثير قليل على التصرف، مضاعفة القطر تزيد التـــصرف بحوالى ١٠% فقط.



شكل (٣/٢٣) تدفق المياه الجوفية ببطء خلال التربة أحيانا تنطلق خارج التربة فى شكل عيون أو إلى قناة مجرى مائى، بما ينتج عنه ثبات مستوى التدفق فى المجرى المائى أثناء فترة الجفاف



شكل (٣/٢٤) مخطط لبئر خط المياه موضحاً

الانخفاض الذى يحدث أثناء السحب بالضخ

يجب تنمية الآبار قبل وضعها فى الخدمة والاستخدام، وذلك لإزالة الطفلـــة الرمليـــة والرمال الرفيعة الملاصقة لمصفاة البئر. تنمية البئر تزيل الإنسدادات فى التربة الحاملـــة منتجة مرشح طبيعى له حبيبات أكبر حول مصفاة البئر، وتوفر التدفق للمياه الخالية مـــن

الرمال أو الطفل الرملى نحو البئر. فى أحد الطرق المستخدمة لتنمية البئر والتى تسمى الاضطراب (Surging)، حيث يستخدم كباس عبارة عن قرص معدنى بقطر أقل قليلاً من القطر الداخلى لقيسون البئر مجهزا للرفع والإنزال فى البئر. فى التربة الحاملة للمياه الجوفية التى تتكون من الرمال الرفيعة، عندئذ يلزم توفير طبقة ترشيح لهذه الرمال حول المصفاة، وهذه تسمى الظهير الزلطى (Gravel Packing) أو التحشية الزلطية ويتم تنفيذها على الفراغ الدائرى ما بين مصفاة البئر وقطر الحفر بالزلط.

بعد تنمية البئر، يتم عمل اختبار الضخ لتعيين ما إذا كان يمكنه صرف الكمية المطلوبة من الماء. عادة يتم ضخ البئر لمدة لا تقل عن ٦ ساعات بمعدل يساوى أو يزيد عن معدل التصرف المطلوب. يتم الحصول على ثبات للانخفاض عند هذا المعدل، وأن المنسوب الاستاتيكى الأصلى تتم استعادته خلال ٢٤ ساعة بعد توقف الضخ. أثناء فترة الضخ هذه، يتم أخذ العينات واختبارها بيولوجيا وكيماوياً.

الفصل الرابع
المخلفات الصلبة المنزلية

أى المواد التى يلقى بها لعدم الاستفادة منها ولأنها غير مطلوبة تعتبر مخلفات صلبة. من الوهلة الأولى، يبدو أن التخلص من المخلفات الصلبة مشكلة بسيطة جداً وارضية. فى العصر الحديث حيث الليزر والكمبيوتر وارتياد الفضاء، يبدو من الصعب التصور أن جمع القمامة سوف يسبب تحدى كبير. ولكن عوامل كثيرة تجعل من المخلفات الصلبة مشكلة معقدة لضخامة نسبة المجتمع الصناعى الحديث المسرف فى الإنفاق.

أولاً، لا شك أن التخلص الغير صحيح للمخلفات الصلبة يمكن أن يسبب تدمير وإتلاف بيئى. كل التلوث يمكن أن ينتج من الحرق الغير مناسب للمخلفات الصلبة، وتلوث التربة وكذلك تلوث المياه السطحية والمياه الجوفية والذى يمكن أن يحدث بسبب التخلص من المخلفات الصلبة فى مدافن الردم الأرضى (Land Fills) الغير منشأة بطريقة صحيحة. تلك الأنواع من التلوث يمكن أن تؤدى إلى العديد من الأمراض للإنسان، بما يهدد الصحة العامة.

توجد علاقة أخرى بين التخلص الغير مناسب من المخلفات الصلبة والصحة العامة. المخلفات الصلبة يمكن أن تأوى الحشرات والزواحف، والتى يمكن أن تعمل كناقل للأمراض المعدية مثل التيفود، والطاعون والدوسنتاريا. بالإضافة إلى أن المواد الصلبة التى يتم التخلص منها فى مقالب مفتوحة تسبب العديد من المضايقات مثل الرائحة، مخاطر الحريق، المخلفات التى تحملها الرياح. لذلك فإن التخلص من المخلفات الصلبة فى المقالب المعرضة أصبح ممنوع وغير مصرح به فى الدول المتقدمة، حيث تصمم الطرق الحديثة للتخلص من المخلفات الصلبة لمنع انتشار المرض والمحافظة على البيئة. وإن كان انتقال الأمراض بسبب التخلص الغير صحيح من المخلفات الصلبة مازال يشكل مشكلة خاصة فى البلاد النامية.

كذلك مما يعقد مشكلة التخلص من المخلفات الصلبة، هو الكميات الضخمة التى ينتجها المجتمع وصعوبة وجود مواقع جديدة للمعالجة والتخلص. بالإضافة إلى التحديات الفنية التى يجب مواجهتها فإنه توجد مشكلة كبيرة اجتماعية واقتصادية.

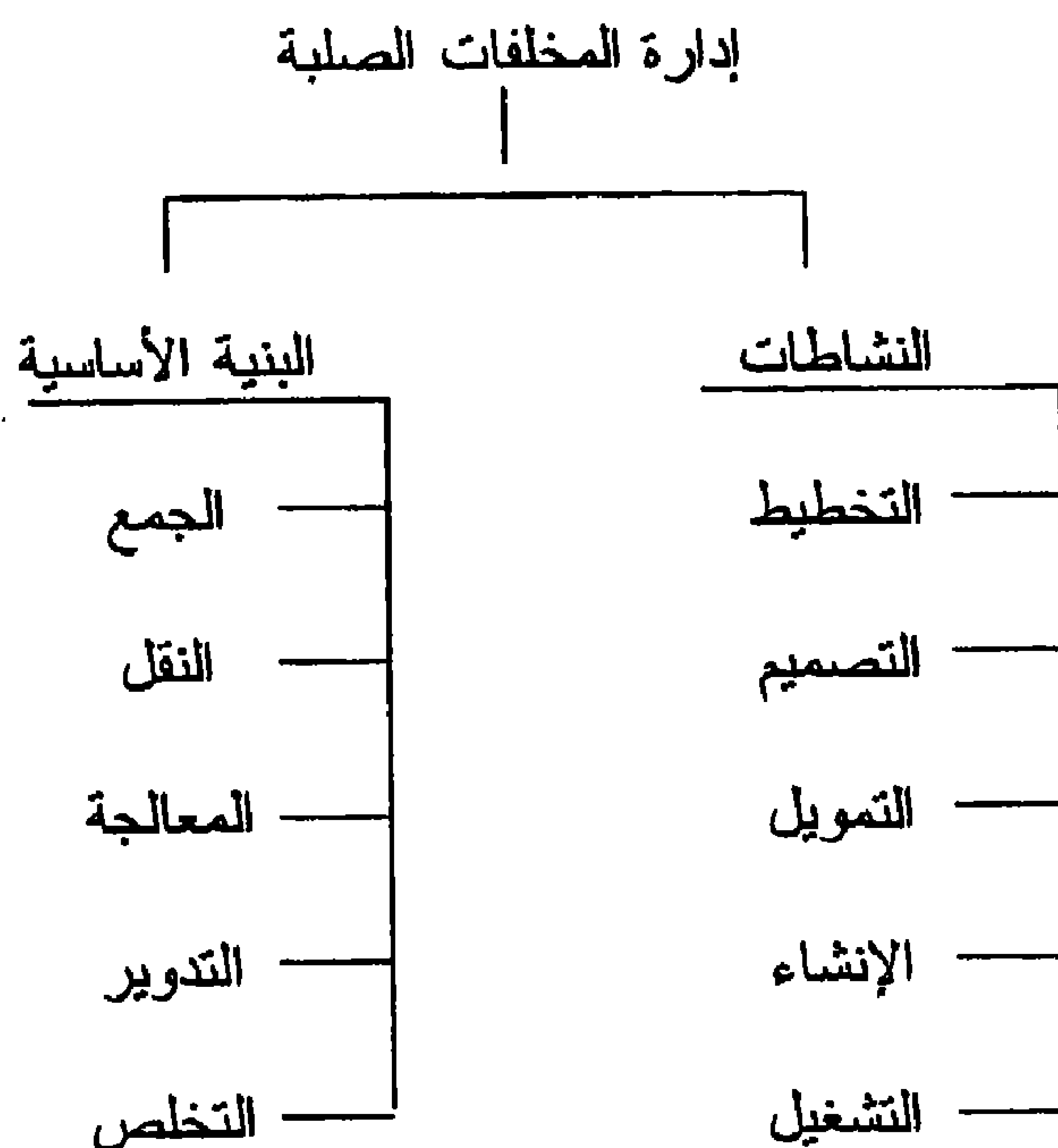
المخلفات الصلبة المنزلية عموماً لا تعتبر خطرة، ولكن أنواع معينة من المخلفات التجارية والصناعية تكون سامة، أو قابلة للاشتعال أو للانفجار أو ما شابه ذلك من الخطورة ويمكن أن تسبب ضرراً مباشراً وفورياً للإنسان. أو البيئة عند التخلص منها بطريقة غير سليمة.

المخلفات الخطرة تحتاج إلى طرق خاصة للتداول والنقل والمعالجة والتخلص والتى تختلف عن تلك المطلوبه للمخلفات الغير خطرة المنزلية.

بعض المنتجات للاستخدام المنزلى (البويات، المنظفات، المبيدات، وما شابه ذلك) قد تحتوى على مكونات خطرة، من المهم أن يتم التخلص من هذه المواد الخطرة بطريقة آمنة مع عزلها عن مسار المخلفات الصلبة المنزلية.

من الواضح، أن المشاكل المتعلقة بالمخلفات الصلبة تتعدى مجرد التخلص منها. بالإضافة إلى الكثير من الصعوبات الفنية والبيئية فإن المشاكل الاقتصادية والإدارية والسياسية يجب أن يتم حلها. الجهود لإعلام كل تلك المشاكل يشار إليها عادة بعملية إدارة المخلفات الصلبة. فى هذا المجال، فإن الإدارة تتضمن التخطيط والتصميم والتمويل والإنشاء وتشغيل وسائل الجمع والنقل والمعالجة والتدوير ثم التخلص النهائى من مادة المخلفات الصلبة المتبقية، أنظر الشكل (٤/١) .نشاطات الإدارة الكلية للمخلفات الصلبة سيتم مناقشتها فى هذا الفصل. المخلفات الخطرة ستناقش فى الفصل الخامس.

شكل (٤/١) نشاطات إدارة المخلفات الصلبة



والآن أصبح التخلص من المخلفات الصلبة جزءا من الخطة المتكاملة لإدارة المخلفات. هذا يعنى أن طرق الجمع والمعالجة والاستعادة، والتخلص النهائى سوف تتداخل مع بعضها البعض للوصول إلى هدف واحد. فمثلاً، التخلص المشترك للمخلفات مع حمأة الصرف يمكن أن يكون جزءا من الخطة المتكاملة لإدارة المخلفات. التدوير (استعادة المواد وإعادة استخدامها) يقوم بدور كبير فى هذه الخطط، وقد أدخلت تقنيات التدوير وإعادة الاستخدام منذ عام ١٩٧٠ وما قبلها، والآن فإن كل خطة لإدارة المخلفات الصلبة تشمل مالا يقل من مكون للتدوير وإعادة الاستخدام. برغم هذا التقدم فإنه مازال (ومن المحتمل أن يظل دائما) الحاجة إلى التخلص من بعض المخلفات فى الأرض، حيث يستخدم الردم الأرضى مع مراعاة حماية نوعية المياه الجوفية من التلوث.

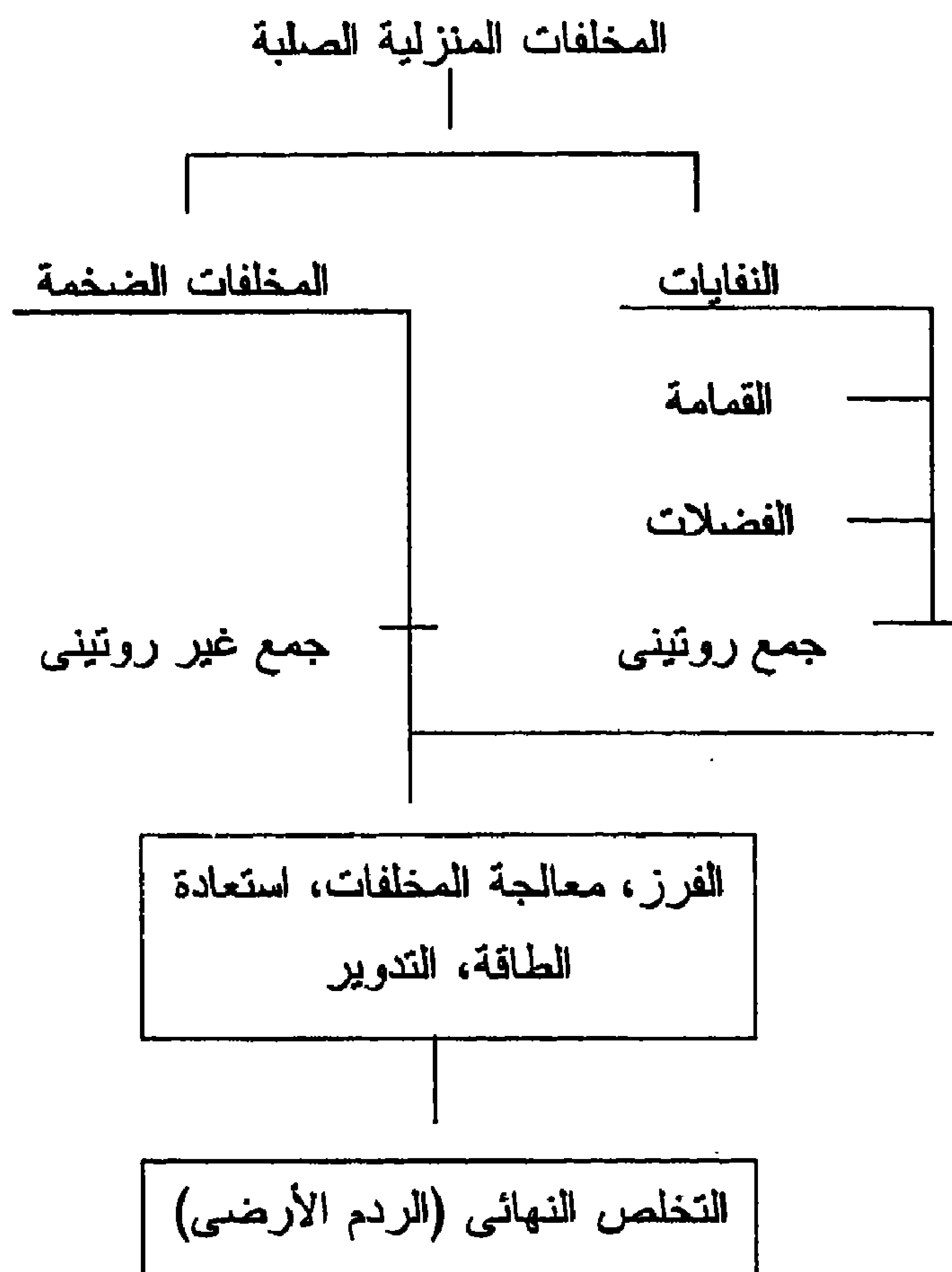
١- خواص المخلفات الصلبة :

المخلفات الصلبة يتم تصنيفها أو تجميعها بعدة طرق. هذه التقسيمات المختلفة ضرورية لإمكانية التوجيه بطريقة مؤثرة للتحديات المعقدة لإدارة المخلفات الصلبة. العوامل المرتبطة بمعدلات إنتاج المخلفات، مصادرها وكمياتها وطرق وصف خواص المخلفات كما سيتم مناقشته.

أنواع المخلفات الصلبة :

المصطلح المخلفات الصلبة المنزلية يستخدم عادة لوصف معظم المخلفات الصلبة الغير خطرة من المدينة أو القرية التي تحتاج إلى الجمع الروتيني والنقل إلى موقع المعالجة أو التخلص. مصادر المخلفات المنزلية الصلبة تشمل المنازل، المؤسسات التجارية، والمؤسسات (مثل المدارس) وكذلك المؤسسات الصناعية. ولكن المخلفات الصلبة المنزلية لا تشمل المخلفات من العمليات الصناعية، مخلفات الإنشاءات والتفجيرات، حمأة الصرف الصحى، مخلفات المناجم، المخلفات الزراعية. المخلفات الصلبة المنزلية تشمل نوعين من المواد وهما النفايات (Refuse)، الفضلات (Rubbish). النفايات تشمل القمامة والفضلات. القمامة (Garbage) وهى خليط من نفايات لا فائدة منها، تحتوى على المخلفات الغذائية القابلة للتعفن وذات القدرة العالية على التحلل، مثل قطع الخضراوات واللحوم. النفايات تحتوى فى معظمها مواد جافة غير قابلة للتعفن مثل الزجاج، المطاط، الصفائح المعدنية، والمواد ذات التحلل البطئ أو ذات القابلية البطيئة للاشتعال مثل الورق، المنسوجات، الأغراض الخشبية. فى الواقع، حوالى ١٠% من المخلفات فقط هو قمامة، ومعظمها نفايات. المخلفات الضخمة (Tarsh) والتى تشمل المواد التى تتطلب تداول خاص ولذلك لا يتم جمعها بطريقة روتينية مثل الأثاث المنزلى القديم (كراسى، مراوح، .. الخ) حتى جذوع الأشجار الضخمة. التقسيم لمختلف أنواع المخلفات المنزلية الصلبة الغير خطرة موضح فى الشكل (٤/٢).

شكل (٤/٢) التقسيم العام للمخلفات المنزلية الصلبة



طبقاً لتقديرات الوكالة الدولية لحماية البيئة فإنه ما بين ٥٥% إلى ٦٥% من المخلفات المنزلية يكون مصدره الوحدات السكنية، ٣٥% إلى ٤٥% من المؤسسات التجارية والمدارس. العوامل المحلية والإقليمية مثل المناخ ومستوى الأنشطة التجارية تساهم فى هذه التغيرات.

مكونات المخلفات الصلبة :

المخلفات المنزلية الصلبة تحتوى على العديد من المواد. بعضها يمكن حرقه، والبعض لا يمكن حرقه، وبعضها يمكن استعادته وتدويره والبعض الآخر لا يمكن إستعادته. إذا كان البديل الوحيد لإدارة المخلفات هو التخلص فى حفر الردم الأرضى الصحية، فإن نسب الزجاج، الورق، القمامة والمواد الأخرى لا تكون ذات أهمية. ولكن

معرفة المكونات المعينة لسريان المخلفات يعتبر خطوة هامة لوضع خطط إدارة المخلفات.

مخلفات الإنشاء والتعمير :

وهذه لا تعتبر من المخلفات المنزلية ولكنها من المخلفات الصلبة. وعادة يتم استعادة وتدوير الكثير من هذه المواد الصلبة مثل المواد المعدنية، الأخشاب.

استراتيجية ادارة المخلفات المنزلية الصلبة :

استراتيجة إدارة المخلفات تشمل ثلاثة مكونات مرتبة كالآتى طبقاً لأهميتها :

١- الخفض من المنبع.

٢- التدوير وإعادة الاستخدام.

٣- التخلص.

١- الخفض من المنبع (منع المخلفات) : التدوير وإعادة الاستخدام، لمكونات المخلفات المنزلية الصلبة المختلفة. وأخيراً التخلص النهائى والذى يشمل الحرق (يفضل مع استعادة الطاقة) وكذلك الردم فى الحفر الأرضية.

٢- جمع المخلفات الصلبة : (Solid Waste Collection)

من بين تكاليف الإنفاق على إدارة المخلفات المنزلية الصلبة، حوالى ثلثى الإنفاق يوجه إلى تكلفة جمع المخلفات. الجمع يشمل التجميع المؤقت، النقل إلى سيارة الجمع، ثم الانتقال إلى الموقع حيث تتم عمليات الفرز والمعالجة والتخلص النهائى للمخلفات. الفرز والمعالجة والتخلص النهائى هى من مشاكل التحدى ولكن الجمع هو المرحلة الأكثر فى التكلفة ذلك بسبب كثافة العمالة. بالإضافة إلى أن تقنيات الجمع الصحيح تعتبر ذات أهمية لحماية الصحة العامة، التأمين، والحفاظ على البيئة.

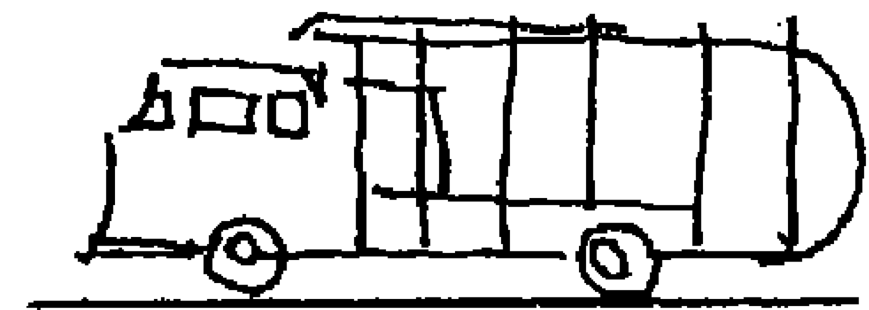
جمع المخلفات الصلبة يمكن أن يكون من مسئولية المحليات، حيث تستخدم عمالة ومعدات لهذا العمل. أحياناً يكون الأوفر اقتصادياً استخدام شركات خاصة لتعمل طبقاً للتعاقد مع المحليات. فى بعض المجتمعات يتم دفع مقابل من أصحاب المنازل إلى القائمين بالجمع وغالباً ما تكون شركة خاصة أو مقاول جمع. مهما كان التنظيم الإدارى

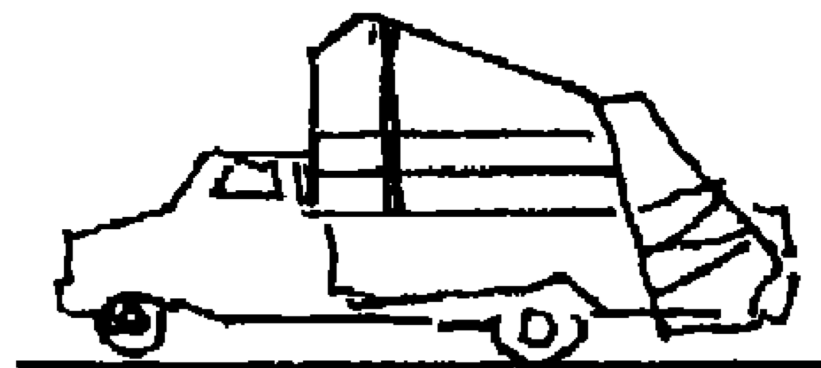
فإنه من الضرورى التنظيم والتخطيط الجيد، والتشغيل وكذلك من الضرورى القـرارات المنظمة لنظام الجمع.

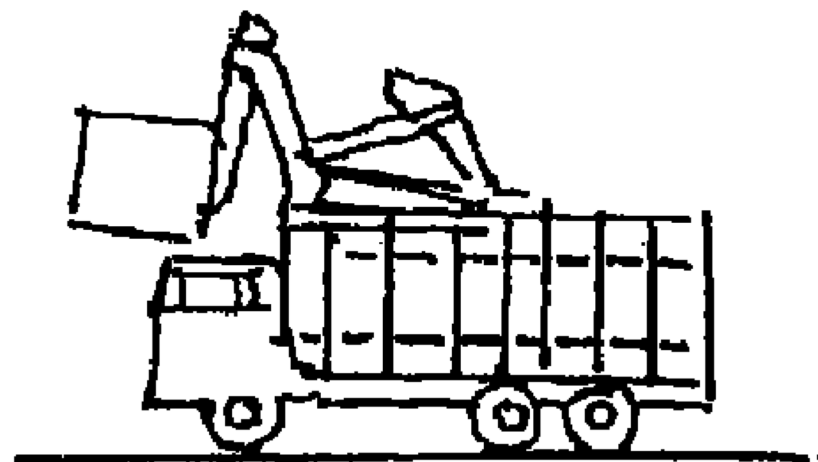
التجميع المناسب فى الموقع له أهمية خاصة للمخلفات المنزلية المحتوية على كميـة كبيرة من القمامة القابلة للتعفن. الحاويات المحكمة ضد الماء، والمقاومـة للتآكـل وذات غطاء مناسب تقلل من حدوث تجمع الحشرات والزواحف، والروائح الكريهة. وقد أوصت وكالة حماية البيئة أن حدود الوزن هو ٧٥ رطلاً للحاويات بالتفريغ اليـدوى للمخلفـات، الحاويات ذات السعة ١١٥ لتراً من المعدن المجلفن أو البلاستك تعتبر مؤثرة. حاويـات أكبر يمكن أن تستخدم مع عربات الجمع الميكانيكى. الحاويات الضخمة يتم اسـتخدامها حيث الأحجام الضخمة من المخلفات من المراكز التجارية والمطاعم والفنادق.

عربة الجمع والطاقم يقومون بأهم عنصر فى نظام الجمع. عربات الجمع تكون مـن النوع المقفل والذى يقوم بعملية الدمج. طاقة الجمع يمكن أن تتغير ولكـن المثـالى هـو حوالى ٢٤ متراً مكعباً. الدمج فى عربة الجمع يقلـل حجـم المخلفـات المفككـة. وزن المخلفات المفككة قد يزن من ٠,٧٥ إلى ١,٥ كيلو نيوتن/ المتر المكعب (١٣٠ إلى ٢٦٠ رطلاً فى الباردة). بعد الدمج فى العربة، فإنها يمكن أن تزن حتى من ٢ إلـى ٤ كيلـو نيوتن/ المتر المربع (٣٥٠ إلى ٧٠٠ رطل/ الياردة المربعة). بمعنى آخر، الـدمج فـى مركبة الجمع يخفض حجم المخلفات بما قد يصل إلى ٨٠% (الحجم سوف يزداد ثانياً إلى حد ما عند إنزال المخلفات فى موقع المعالجة والتخلص).

معظم مركبات جمع المخلفات هى إما ذات تحميل أمامى أو جانبى أو خلفـى مـع الدمج، رغم أن بعض أنواع المركبات المقفلة وبدون دمج قد تـستخدم أحيانـاً، نمـوذج لمركبات الجمع موضح فى الشكل (٤/٣) الطاقم قد يتراوح ما بين فرد إلى أربع أفراد.







شكل (٤/٣) مركبات جمع المخلفات ودمكها

وتقليل الحجم للمخلفات بنسبة حوالى ٥٠%.

فى كثير من المجتمعات يتم تدوير مواد معينة. حيث يقوم السكان بعملية الفصل أى بفصل الزجاج، المعدن، الورق، البلاستيك من باقى المخلفات. المواد القابلة للتدوير يتم عندئذ جمعها فى عربة جمع منفصلة لمنع احتواء المخلفات على المكونات المقابلة للتدوير. عربات جمع مواد التدوير لها غرف تحميل جانبية لمختلف المواد القابلة للتدوير. كما سيتم مناقشته لاحقا.

أحد أكثر الطرق تأثيرا بخصوص خفض تكاليف جمع المخلفات هى بتعظيم طريق الجمع، أقصى طريق هو ذلك الذى ينتج عنه أقصى كفاءة لاستخدام العمالة والمعدات. الخواص المختارة لأفضل طريق تشمل الآتى :

١- عربات الجمع لا تسير مرتين فى نفس الشارع، أى أن ممرات الجمع يجب ألا تتطابق.

٢- جمع المخلفات من الشوارع المزدحمة والطرق لا يحدث أثناء الصباح أو بعد الظهر فى ساعات الذروة.

٣- الجمع لا يتم فى اتجاه أسفل الارتفاعات لتوفير الوقود.

٤- نقطة البدء يجب أن تلاصق جراج عربة الجمع، ونقطة الجمع النهائية يجب أن تكون قريبة ما أمكن من مكان نهاية رحلة العربة المملوءة (أى محطة النقل، المحرقة، مصنع المعالجة، أو الردم الأرضى).

محطات النقل : (Transfer stations)

دائما ما يكون مجديا لمركبات الجمع المنفردة نقل المخلفات إلى مصنع معالجة المخلفات أو إلى موقع التخلص النهائى، خاصة إذا كان مكان نهاية الرحلة ليس قريبا من التجمع السكنى الذى تم جمع المخلفات منه. لحل مشكلة نقل المخلفات هذه بكفاءة فإنه يمكن استخدام محطة نقل أو أكثر.

محطة النقل هى التسهيلات التى عندها تتجمع المخلفات الصلبة من مركبات الجمع الفردية إلى المركبات الضخمة، مثل المركبات ذات الجرار. من الناحية الاقتصادية يفضل استخدام القليل من هذه المركبات الضخمة. نقل المخلفات الصلبة المدمجة خلال المسافة الطويلة من نهاية مكان الرحلة الأولى إلى مكان التصنيع أو المعالجة أو التخلص النهائى، ذلك أفضل من قيام كل مركبة جمع بعمل هذه الرحلة.مسافة واحدة بطول حوالى ٢٠ كيلو

متر تعتبر أقصى حد لعربة جمع المخلفات المنفردة، ولكن خلال الدراسات الهندسية ومقارنة التكاليف والعائد لتعيين الحاجة لمميزات محطة النقل.

محطة النقل الواحدة يمكن أن تكون ذات طاقة من أقل من ١٠٠ طن إلى أكثر من ٥٠٠ طن من المخلفات فى اليوم، طبقاً لحجم المجتمع. توجد طريقتين أساسيتين للعمل، إما التفريغ المباشر أو تفريغ التخزين (Storage Discharge). فى محطة النقل للتفريغ للتخزين يتم أولاً تفريغ المخلفات من عربات الجمع إلى حفرة تجميع أو على رصيف ضخم. عندئذ تستخدم لوادر لدفع أو لتحميل المخلفات فى وحدات النقل بالجرارات.

فى محطة التفريغ المباشرة كل عربة مخلفات تقوم بالتفريغ مباشرة فى عربات النقل الضخمة. الجرارات عادة تكون ذات طاقة ٧٥ متراً مكعباً وتستوعب مخلفات الجمع من أربع عربات للجمع إذا لم تكن مدمجة وحتى ٨ عربات للجمع إذا كانت المخلفات مدمجة. محطة التفريغ المباشر تحتاج إلى مستويين للتنظيم، كما هو موضح فى الشكل (٥/٤). ويمكن استخدام الحفارة الخلفية المجهزة بتجهيزة دمك لدمج المخلفات التى تم إلقاءها فى الجرار المفتوح مباشرة. تستخدم أجناب وأسقف ميكانيكية للقفل للحصول على مركبة مقفلة أثناء النقل.

بالإضافة إلى الجرارات ذات السقف المكشوف، يوجد نوعين من جرارات الدمج المقفلة. فى أحدهما يكون عنصر الدمك من مكونات الجرار حيث يدمك المخلفات وقذفها فيما بعد فى مصنع المعالجة أو موقع التخلص. النوع الثانى هو المثبت (Anchored) لفصل وحدة الدمك (الدمج) أثناء عملية التحميل، هذه الجرارات يجب إعدادها بتجهيزات النقل (Conveyors) أو القذف لتفريغ الشحنة من المخلفات الغير مدموكة. نوع آخر من تصميمات محطة النقل، يسمى محطة حفرة الدفع، وهذه تشمل حفرة ذات مكبس عند أحد النهايات وقادوس عميق عند النهاية الثانية. بعد امتلاء الحفرة بواسطة عربات الجمع، فإن المكبس يدفع المخلفات نحو حفرة القادوس والذى يقوم بتحميل الجرارات.

طرق جمع أخرى :

فى الدول الأوروبية بعض المنازل يتوفر بها طاحن للقمامة، هذه التجهيزة تقلل كمية مخلفات الطعام. وهذا النوع من المخلفات المطحونة يمكن صرفها فى شبكة الصرف الصحى حيث يمكن لمحطات المعالجة تداول الحمل الزائد، بما يتطلب دراسة هندسية لتأكيد ذلك فى بعض نظم المعالجة.

نظم الجمع المتطورة تتضمن النقل الهوائى فى مواسير. فى النظام الهوائى يتم دفع المخلفات بالتفريغ (Suction) خلال مواسير تحت الأرض إلى محطة معالجة مركزية. جمع المخلفات فى ديزنى لاند فى فلوريدا تم بهذا النوع. فهو يفضل عن عربات الجمع المسببة للإزعاج بالصوت وسوء المنظر. ولكن يلزم نظم التحكم المعقدة والمحابس والمحركات عالية السرعة للعمل فى هذا النظام، هذا بالإضافة إلى أن تكاليف الإنشاء مرتفعة. نظام الجمع الهوائى تم كذلك إنشاؤه فى بعض التجمعات الصغيرة فى السويد واليابان. السويد كانت المدينة الأولى التى استخدمت النقل الهوائى للمخلفات فى خطوط مواسير ضخمة، (٣٠٠ ملميتر)، من المسكن إلى المحرقة والتى توفر كذلك طاقة للتدفئة. برغم التقنية العالية فى الجمع الهوائى للمخلفات ونقلها، إلا أنها مجدية فقط فى أماكن خاصة ولا يحتمل أن تكون بديلاً لما هم قائم فى المستقبل المنظور.

٣- إعداد المخلفات الصلبة : (Solid Waste Processing)

المخلفات الصناعية المنزلية يمكن معالجتها أو إعدادها مثل التخلص النهائى. إعداد المخلفات الصلبة يحقق فوائد عديدة أولاً، فهو يمكن من خفض الحجم الكلى ووزن مادة المخلفات التى يلزم التخلص النهائى منها. خفض الحجم يساعد فى خفض الحاجة من المساحات الأرضية، كما يقلل من التكاليف الكلية لنقل المخلفات إلى موقع التخلص النهائى.

بالإضافة إلى خفض الحجم والوزن، فإن إعداد المخلفات يغير من شكلها ويحسن من خواص تداولها. الإعداد يمكن كذلك أن يفيد فى استعادة الموارد الطبيعية الكامنة فى مادة المخلفات للتدوير ولإعادة الاستخدام. أكثر الطرق المستخدمة فى عمليات معالجة المخلفات تشمل الحرق، التقطيع، الطحن، وتحزيمها فى شكل حزم وبالات، وتحلل المادة العضوية بالردم الصحى (compositing). رغم أن الحرق يقلل إلى حد كبير حجم المخلفات، إلا أنه عملية إعداد وليس عملية التخلص النهائى، حيث ما يزال المطلوب الردم الأرضى للتخلص النهائى من الرماد والمخلفات الأخرى المتبقية.

الحرق : (Incineration)

أحد الطرق المؤثرة لخفض الحجم والوزن للمخلفات الصلبة المنزلية هو بحرقها، فى فرن حرق مصمم بطريقة جيدة تحت ظروف مناسبة من درجة الحرارة والتشغيل. عملية الحرق هى عملية مكلفة ذلك لأنه يلزم توفير معدات حماية الهواء من التلوث. كذلك فإن

وحدة الحرق تتطلب إشراف فنى وتقنى عالى وعمالة ماهرة للتشغيل الصحيح ولأعمال الصيانة. فوائد الحرق عموماً تزيد عن السلبيات، فى اليابان يتم حرق (٧٥% من المخلفات المنزلية الصلبة)، الحرق هو عملية كيماوية حيث يتم اتحاد المواد القابلة للاحتراق مع الأكسجين حيث غالباً ما يكون ناتج التفاعل هو ثانى أكسيد الكربون والماء. ويسمى التفاعل الكيميائى هذا بالأكسدة، وينتج عنه انطلاق طاقة حرارية، أى الحرارة. غاز ثانى أكسيد الكربون وبخار الماء ينطلقوا فى الجو. للأكسدة الكاملة، فإن المخلفات يجب خلطها مع الأحجام المناسبة من الهواء، مع المحافظة على درجة الحرارة المناسبة لفترة زمنية مناسبة. النموذجى أن درجات حرارة الفرن هى حوالى ٨١٥ ^{0}م والمخلفات يجب أن تظل فى الفرن لمدة حوالى ساعة. بالنسبة لبعض أنواع المخلفات فإن درجة الحرارة حتى ١٤٠٠ ^{0}م يمكن الوصول إليها أثناء الحرق.

الحرق يمكنه أن يقلل حجم المخلفات إلى حوالى ٩٠%، ويخفض الوزن بنسبة حتى ٧٥%. فى المناطق الحضرية ذات الكثافة السكانية العالية حيث لا تتوفر المساحات الأرضية المناسبة للدفن الأرضى فى خلال مسافات وصول مقبولة، فإن الحرق يمكن أن يكون البديل الاقتصادي المناسب لتداول المخلفات. فى كثير من الحالات يكون من المناسب اقتصادياً التصميم والتشغيل للمحرقة بحيث أن الحرارة الناتجة عن الاحتراق يمكن استعادتها واستخدامها فى إنتاج البخار أو الطاقة الكهربية، هذا النوع من الاستخدام يسمى نظام استعادة الموارد أو الطاقة.

مخلفات وانبعاثات المحرقة :

الحرق لا يتم لكل المخلفات الصلبة. رماد القاع المادة الصلبة المتبقية فى الفرن بعد الحرق تشمل الزجاج، المعدن، جسيمات معدنية صغيرة، ومواد أخرى لم يتم حرقها. حجم رمادة القاع للمخلفات الصلبة المنزلية تصل إلى حوالى ٥% من الحجم الأصلى للمخلفات. نوع آخر من وحدات حرق الرماد يسمى الرماد الطافى أو الطائر (Fly Ash)، الذى يحمل على طول مسار حرق الهواء (أو الغاز العادم). الرماد الطائر يتكون من مواد دقيقة جداً بما فيها البثار والسناج. معظم رماد محارق المخلفات الصلبة المنزلية (حوالى ٨٠% بالوزن) يكون فى شكل رماد القاع، والباقى يكون الرماد الطائر.

احتمال وجود المعادن الثقيلة فى رماد الحريق هو من العوامل التى يجب مراعاتها. مع تدمير الجزء القابل للحرق فى المخلفات فإن الحرق يعمل على تركيز المعادن، والتى

تظل فى الرماد. المعادن مثل الرصاص والكادميوم يمكن أن تكون ضارة فى حالة وجودها بتركيزات مرتفعة. بعض المواد العضوية مثل (dioxins) يمكن أن تكون موجودة فى الرماد. أحد الطرق لخفض هذه المشكلة هى بعزل مثل هذه المنتجات والمواد السامة المحتوية على المعادن الثقيلة (مثل، البطاريات ومواد البلاستيك) عن مسار المخلفات المنزلية. الرماد الطائر عموماً يحتوى على تركيزات عالية من المواد السامة أكثر من رماد القاع. إختبار رماد القاع والرماد الطائر يكون مطلوباً ما إذا كان يلزم إدارة المخلفات كما لو كانت مخلفات خطرة من عدمه. فى أى الحالات، فإنه من المهم ردم كل رماد الحرق فى حفر الردم الأرضى، ويفضل فصل الرماد عن المخلفات الصلبة الأخرى. الرماد يمكن معالجته كيماوياً أو طبيعياً قبل التخلص. فمثلاً، فى حالة خلطه مع الجير الحى والماء فإن الرماد يكون مادة شبه أسمنتية التى تشل حركة المواد المعدنية (Immobilize)، فى هذا الشكل يمكن استخدامه فى إنشاءات أساسات الطرق وأغراض مفيدة أخرى.

التجهيزات الحديثة لإزالة الملوثات من الهواء يتم إنشاءها فى كل المحارق المستخدمة لحرق المخلفات الصلبة وذلك لإزالة الرماد الطائر والملوثات الغازية الضارة. هذه المعدة يتم وضعها بعد الفرن ولكن قبل المدخنة الطويلة. (تجهيزات إزالة الملوثات من الهواء مثل المرشحات النسيجية، وغسيل الغازات الحامضية، المرسبات الكهروستاتيكية. مداخن المحارق يمكن أن تكون ذات ارتفاع ما بين ٦٠ متراً إلى ٨٠متراً، صرف الغازات العادمة التى تم تنظيفها عند هذه الارتفاعات يزيد من معدلات التخفيف والانتشار، بعد إزالة ملوثات الهواء. ارتفاع مدخنة المحرقة يتوقف على عدة عوامل، بما فيها طبوغرافية الأرض المحلية، استعمالات الأراضى، المناخ، متوسط حالة الرياح.

العمل الجيد للمحرقة أساسى بالنسبة لحماية الهواء من التلوث.

درجة حرارة الاحتراق المرتفعة بما فيه الكفاية، وزمن الاحتراق المناسب، الإمداد بما يكفى من الهواء هذه العوامل مطلوبة لتدمير المركبات العضوية الضارة الموجودة فى المخلفات. من المهم اختبار الانبعاثات للتأكد من الأداء الجيد لكل النظام ومنع حدوث تلوث للهواء.

التصميم والتشغيل : (Design and Operation)

معظم المحارق الحديثة الضخمة تصمم بالعمل المستمر مع التغذية المستمرة، وليس بطريقة التغذية المرحلية. التغذية المستمرة بالمخلفات تسمح بتجانس درجة حرارة الفرن،

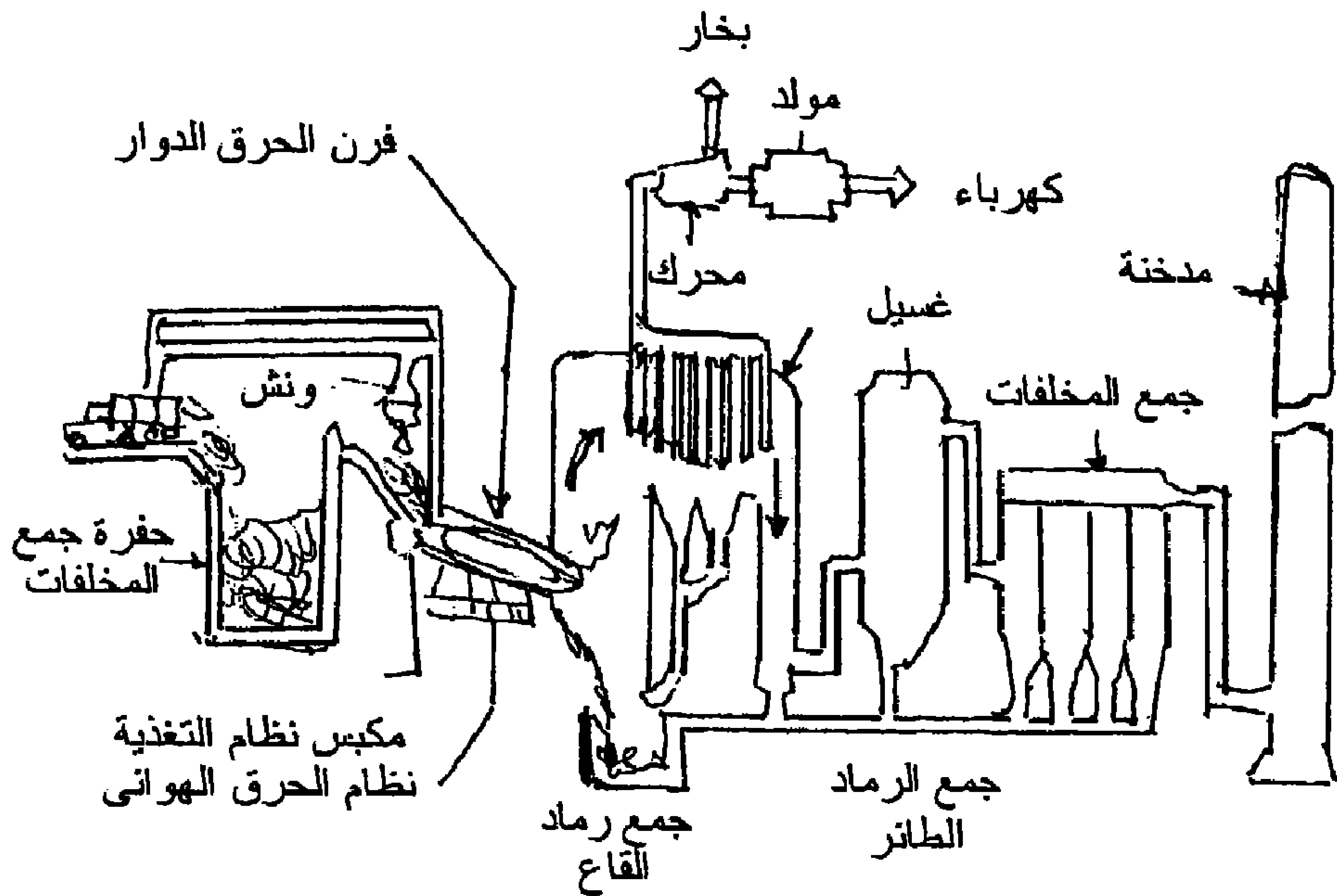
وهذا يوفر زيادة فى كفاءة الحرق وخفض حدوث التلف بفعل الصدمة الحرارية لمكونات المحرقة.

المحرقة النموذجية تحتوى على حفرة جمع المخلفات أو مساحة للقلاب (Tipping Area)، والتى توفر حجم لتخزين المخلفات لا يقل عن يوم واحد. الحجم الكافى من التخزين يكون ضرورياً جداً ليسمح بالعمل المستمر للمحرقة. يتم رفع المخلفات من الحفرة بواسطة ونش ذو دلو لخطف حجم من المخلفات ورفعه ثم تفريغه فى قادوس الشحن أو المنحدر أو الأنبوب. ثم تتحرر المخلفات من المنحدر أى حاملة الوقود إلى الموقد. توجد أنواع مختلفة من التجهيزات الميكانيكية للتقليب وتحريك المواد المحترقة فى الفرن بطريقة تسمح باستمرار تدفق الهواء. المحارق للمخلفات المنزلية الصلبة يتم بنائها باشكال مختلفة، حيث تشمل الفرن المستطيل، الفرن الدوار. فى النوع المستطيل ينظم اثنين أو أكثر من حاملات الوقود الشبكية المتصالبة فى طبقات، فى فرن الأتون الدوار (Rotary Kiln Furnance)، فإن الشباك المعدنية للتجفيف تسبق الأسطوانة الدوارة (الأتون) حيث يحدث الحرق التام. فرن الأتون الدوار موضح فى الشكل (٤/٤).

فى داخل الفرن يحدث الحرق فى مجالين، الحرق الأولى والحرق الثنائى، فى الحرق الأولى، يتم دفع الرطوبة والتخلص منها ثم عندئذ فإن المخلفات القابلة للحرق تتطاير وتحرق. فى مرحلة الحرق الثنائية، الغازات المتبقية التى لم تحرق وكذلك بعض الجسيمات الصلبة العالقة التى احتجزت فى تيار الهواء بعد الحرق الأولي يتم أكسدتها. المرحلة الثانية للحرق تساعد فى التخلص من الرائحة وتقلل من كمية الجسيمات التى لم تحرق فى الغازات العادمة. يستخدم أحياناً غاز أو وقود مساعد لتسخين الفرن وبدء الحريق الأولي عندما تكون المخلفات مبتلة جيداً بالرطوبة. كذلك الوقود المساعد يسهل الاحتراق الثاني التام ويوفر إزالة إضافية للرائحة والدخان فى الغازات العادمة.

يجب خلط كميات كافية من الهواء جيداً مع المخلفات بما يمكن من إتاحة الأكسجين للحرق الأولي والثاني. فى الفرن من النوع المستطيل، يمكن الإمداد بالهواء من فتحات أسفل الشبك الحامل للوقود (الهواء أسفل اللهب) ثم يوجه إلى المنطقة فوق الشبك الحامل للوقود (الهواء أعلا اللهب). نسب الكميات من الهواء أسفل اللهب والهواء فوق اللهب يتم تحديدها بواسطة العامل للأداء الجيد للمحرقة. يتم توفير تدفقات الهواء من السحب الطبيعى لهواء المدخنة أو من مراوح دفع الهواء.

أفران الحرق التى لا تستخدم فى استعادة الطاقة تنشأ بمواد حرارية، التى تقاوم تأثيرات درجات حرارة الحرق المرتفعة جداً. الطوب الحرارى يصنع من الألومينا، مجنيزيا (Magnesia)، السيليكا، الطفلة، التى تسمى الكاولين، الجدران الحرارية تكون بسمك حوالى ٢٢٥ مليمتراً.



شكل (٤/٤) مخطط للفرن الدوار لحرق المخلفات وإنتاج الطاقة

استعادة الطاقة (Energy Recovery)

استعادة الحرارة الناتجة عن حرق المخلفات فى المحرقة يمكن تنفيذها باستخدام فرن مبطن بالحراريات يليه غلاية. الغلاية تحول الحرارة الناتجة عن الاحتراق إلى البخار أو إلى الماء الساخن. بهذه الطريقة، المحتوى من الطاقة للمخلفات يمكن تدويرها ووضعها فى استخدام مفيد. المخلفات المنزلية الصلبة المحتوية على الورق والخشب والمواد الأخرى القابلة للاحتراق يمكنها أن تعطى محتوى من الطاقة يعادل تقريباً ثلث طاقة الفحم. نوع آخر من استعادة الطاقة يستخدم جدار الفرن المزود بمواسير المياه (Water Tube Wall Furnace). هذا النوع من الأفران يكون مبطناً بمواسير صلب ملحومة ذات فواصل قريبة من بعضها البعض ومثبتة رأسياً لتكون جداراً مستمراً. العزل الخارجى للجدران يقلل الفقد فى الحرارة. تمتص الحرارة بواسطة الماء الذى يدور خلال المواسير، والماء الذى يتم تسخينه يستخدم فى إنتاج البخار. ميزة هذا النظام هو أن الماء يعمل كذلك

فى التحكم فى درجة حرارة الفرن، ويقلل الحاجة إلى الهواء الزائد. أحجام أصغر من تدفق الهواء ينتج عنها خفض تكاليف الحد من تلوث الهواء مقارنة إلى تكاليف الفرن المبطن بالحراريات.

عند تغذية المخلفات الصلبة الخام والتى لم يتم معالجتها كوقود مباشرة فى فرن من نوع استعادة الحرارة، فإن هذه العملية تسمى حرق الكتلة (Mass Burning). ولكن فى بعض نظم الحرق يمكن معالجة المخلفات أو إعدادها بالتقطيع وبفصل مادة المخلفات الغير قابلة للاحتراق قبل تغذيتها فى الفرن. فى هذه الحالة فإن المخلفات الصلبة تسمى الوقود المستخلص من المخلفات (Refuse Derived Fuel). تقربا يمكن إنتاج ٢ كيلو جرام من البخار من كل كيلوجرام من المخلفات المحروقة، ولكن التغير فى خواص المخلفات يؤدى إلى تغير فى معدل إنتاج البخار. يجب عمل احتياطى لحرق وقود إضافى عندما يكون حجم أو المحتوى الحرارى الذى يتم استعادته من المخلفات ينخفض مؤقتاً.

استعادة الحرارة وإعادة استخدامها من حرق المخلفات المنزلية الصلبة يعتبر اختيار جيد لإدارة المخلفات من وجهة النظر البيئية والإيكولوجية. ولكن التكاليف العالية للمعدات والإدارة بالإضافة إلى الحاجة إلى عمالة فنية على مستوى عالى من التدريب وكذلك الحاجة إلى نظم للوقود الإضافى، تلك هى بعض العوامل التى يجب مراعاتها عند الرغبة فى إقامة وحدة لإدارة المخلفات الصلبة. تقريباً، كل المحارق الجديدة تستخدم نظم استعادة الحرارة. الحرق أصبح أسلوبا مفضلاً لإدارة المخلفات الصلبة يفوق استخدام الردم الأرضى، ذلك لصعوبة مساحات من الأرض مناسبة للردم الأرضى. بسبب تعقيداتها فإن المحارق الضخمة (ذات طاقة تزيد عن مائة طن فى اليوم) يتم طرحها للتصميم والإنشاء والتشغيل كعملية تسليم المفتاح. بعد عملية الطرح فإن بائع المحرقة ينظم التمويل (إما على المستوى الفردى أو من خلال عقد عام مع المحليات) ويقوم بتشغيل الوحدة طبقاً للتعاقد مع المحليات. فى حالة المحارق الصغيرة نسبياً ذات طاقة من واحد إلى ثلاثة طن فى الساعة يمكن توفيرها كوحدة سابقة التجهيز بواسطة المنتج. بعض الوحدات المعيارية أو النسقية (Modular Units) يتم تغذيتها على مراحل وتعمل باستخدام فرن قليل الهواء (Starved Air Furnance) لتقليل تلوث الهواء. كذلك يمكن تزويد المحارق النسقية (المعيارية – Modular) يمكن تزويدها بالغلايات لاستعادة الطاقة الحرارية المفقودة.

التحليل الحرارى : (Pyrolysis)

التحليل الحرارى (Pyrolysis) هو عملية حرارية ذات درجة حرارة مرتفعة التى يمكن أن تكون بديلاً عن الحرق، فهى تحدث فى بيئة ذات محتوى منخفض من الأكسجين

أو فى حالة عدم وجود الأكسجين وينتج منتجات يمكن أن تستخدم كوقود. يتم حرق الغاز الطبيعي لبدء العملية. بدلاً من الأكسدة تحدث سلسلة معقدة من التحلل والتفاعلات الكيميائية الأخرى. تلوث الهواء فى حالة التحلل الحرارى يكون مشكلته أقل مقارنة بالنسبة للحرق بسبب الحجم المنخفض من المخلفات الغازية. يمكن استخدام التحلل الحرارى فى إعداد ومعالجة إطارات المطاط الكهنة، المطاط يختزل إلى الزيت وغاز الميثان، الذى يمكن بيعه. (إطارات المطاط يمكن كذلك تقطيعها إلى قطع صغيرة وإضافتها إلى مادة الرصف الأسفلتية لإنشاءات الطرق).

التقطيع والطحن : (Sharedding and Pulverizing)

التقطيع والطحن يقلل من حجم المخلفات بحوالى ٤٠%. توجد أسباب كثيرة لخفض حجم المخلفات المنزلية الصلبة. إنتاج وقود من المخلفات يتطلب إعداد المخلفات الصلبة الخام بالتقطيع والطحن. التجميع أو التركيب (compositing) والذى سيتم مناقشته لاحقاً عادة يحتاج إلى خفض الحجم. يمكن أولاً استخدام التقطيع والطحن عندما يكون الغرض الرئيسى هو استعادة مادة من المخلفات التى يمكن تدويرها وتسويقها. خفض الحجم وعملية التجانس تحسن من آلية الفصل الميكانيكى أخيراً، تقطيع المخلفات قبل الردم الأرضى يقلل من إيواء الزواحف لصعوبة وجود فراغات فى المادة المتجانسة.

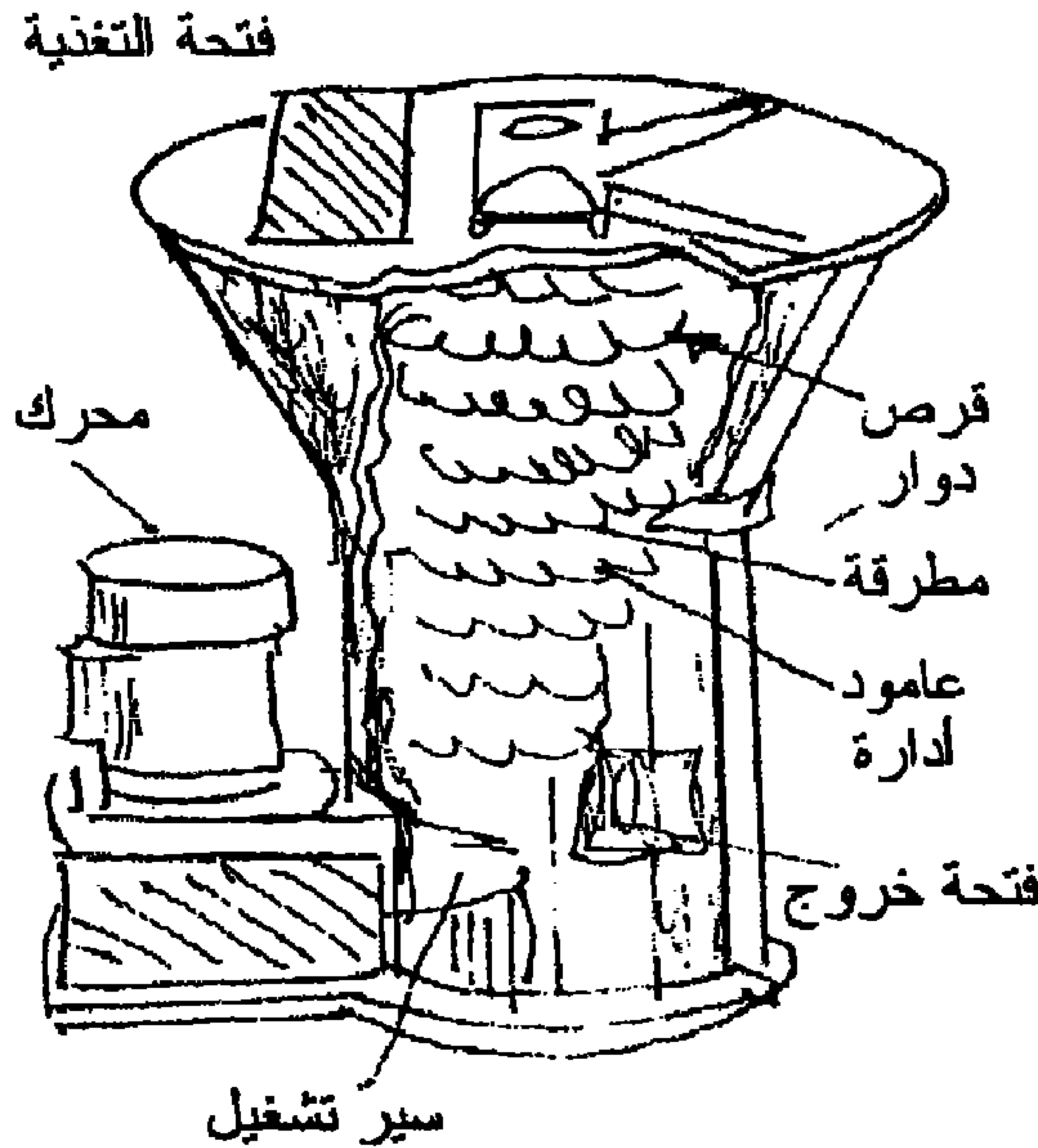
المطارق : (Hammer Mills)

أحد المعدات المستخدمة لإعداد المخلفات الصلبة لتكون فى شكل كتلة متجانسة هى المطرقة. المطرقة هى تجهيزة ميكانيكية للصدمة حيث مادة المخلفات الصلبة الخام يتم طرقها بقوة كافية لتفتيتها وتقطيعها إلى قطع صغيرة. الطرق يتم بواسطة عدة مطارق التى تدور بسرعة عالية (حتى ١٥٠٠ لفة فى الدقيقة) حول عامود إدارة رأسى أو عمودى، مطرقة رأسية موضحة فى الشكل (٥/٤).

فى حالة المطرقة الأفقية فإن قضبان التقطيع أو ألواح التكسير تكون مثبتة حول محيط المطحنة والتى تقلل كذلك من حجم المخلفات. عند تمام خفض الحجم لمكونات قطع المخلفات فإن هذه المخلفات تسقط ببساطة خلال الشبك الحامل للوقود عند قاع الغرفة. يمكن خفض حجم المخلفات الصلبة إلى قطع متجانسة ذات قطر ما بين ٢٥ مليمتر إلى ٥٠ مليمتراً (١ – ٢ بوصة) مع التشغيل الجيد. المطحنة النموذجية تكون ذات قدرة ١٥٠ حصان وقادرة على إعداد حوالى ١١ طنا (100 KN) من المخلفات الصلبة فى الساعة.

بالإضافة إلى التكلفة العالية للتشغيل والصيانة واستهلاك الطاقة فإن سلبيات المطرقة تشمل إحداث الصوت وتولد الغبار.

الحديث فى أجهزة خفض الحجم هو القاطعة الدوارة بالقص (Rotary Shear Shredder). وهذه ذات عزم عالى، وسرعة بطيئة نسبياً (حتى ٦٠لفة فى الدقيقة)، تتكون من اثنين أو أكثر من أعمدة إدارة متوازية أفقية التى تدور فى اتجاهات متعاكسة. كل عامود إدارة له قاطعات التى تقطع وتمزق مادة المخلفات. العزم العالى وأداء القص العالي يسمح لهذا النوع من الماكينات بتقطيع المواد الصعبة مثل الإطارات.



شكل (٤/٥) المطرقة الرأسية

التكييس (التعبئة فى أكياس أو بالات) : (Baling)

دمك المخلفات الصلبة فى شكل كتل مستطيلة أو بالات يسمى التكييس. هذه العبوات تكون ذات حجم حوالى ١,٥متراً مكعباً وتزن حوالى واحد طن (واحد كيلو نيوتن). المخلفات الصلبة يمكن دمكها تحت الضغط العالى (حوالى ١٠٠ رطل/ البوصة المربعة أو ٧٠٠ كيلو باسكال 700 K Pa-) أما فى مكابس رأسية أو أفقية، العبوات أو البالات أحياناً يتم لفها بسلك من الصلب للمساعدة فى المحافظة على شكلها المستطيل أثناء التداول. (كذلك يمكن احتوائها فى الأسفلت المنصهر، أو البلاستيك، أو الأسمنت البورتلاندى، أو ربطها بواسطة أربطة معدنية، طبقاً للاستخدام المستقبلى أو طريقة

التخلص). إذا كان محتوى الرطوبة وضغوط الكبس مرتفعة بدرجة كافية، فإنــه يحــتفظ بشكلها بدون الحاجة إلى اللف بسلك أو تغليفها). المكبس الشبه آلى الأفقى يمكنــه كــبس حتى ٣٦ كيلو نيوتن (أو ٤ طن) فى الساعة من المخلفات المنزلية الصلبة. الخفض فــى الحجم قد يصل إلى ٩٠% من الحجم الأصلى.

خفض حجم المخلفات الصلبة يمكن تقديره بنسبة الدمك أو الكبس، وكــذلك بالنــسبة المئوية. تفهم العلاقة بين النسبة المئوية للخفض فى الحجم ونسبة الدمك أو الكبس تعتبــر هامة، خاصة عند مراجعة وتفسير بيانات المنتج واختيار أو توصيف وحدة كبس مناسبة. المعادلة المناسبة هى :

$$\text{النسبة المئوية للخفض فى الحجم} = \frac{\text{الحجم الأولى} - \text{الحجم النهائى}}{\text{الحجم الأولى}} \times ١٠٠ \quad (١)$$

$$\text{نسبة الكبس (الدمك)} = \frac{\text{الحجم الأولى}}{\text{الحجم النهائي}} \quad (٢)$$

مثال :

الحجم الأصلى لكتلة المخلفات الصلبة هو ١٥متراً مكعباً. بعد الكبس، انخفض الحجم إلى ٣ أمتار مكعبة. (أ) أحسب النسبة المئوية للخفض فى الحجم ونسبة الدمك (الكــبس). (ب) إذا كان المطلوب الحصول على خفض فى الحجم ٩٠%، ماذا ستكون نسبة الدمك.

(أ) باستخدام المعادلة رقم (١).

$$\text{النسبة المئوية للخفض فى الحجم} = \frac{١٥ - ٣}{١٥} \times ١٠٠ = ٨٠\%$$

باستخدام المعادلة رقم (٢)

$$\text{نسبة الدمك (الكبس)} = \frac{١٥}{٣} = ٥$$

نسبة الدمك يعبر عنها ٥ : ١ أو خمسة إلى : ١.

(ب) باستخدام المعادلة رقم (١) للحصول على نسبة الدمك التي تقابل ٩٠% خفض في الوزن.

$$٩٠ = \frac{١٥ - \text{الحجم النهائى}}{١٥} \times ١٠٠$$

∴ الحجم النهائى = ١,٥ متراً مكعباً.

باستخدام الحجم النهائى ١,٥ متراً مكعباً وتطبيق المعادلة رقم (٢).

$$\therefore \text{نسبة الدمك (الكبس)} = \frac{١٥}{١,٥} = ١٠ \text{ أو } ١ : ١٠$$

من هذا المثال يلاحظ أنه لتحسين الخفض في حجم المخلفات الصلبة بنسبة ١٠%، من ٨٠% إلى ٩٠%، يكون من الضرورى مضاعفة نسبة الدمك من ٥ : ١ إلى ١٠ : ١

الميزة الأساسية لتكييس المخلفات الصلبة هى الخفض الكبير فى حجم المخلفات، سهولة تداول المخلفات المدموكة، وخفض مصادر الإزعاج والانتشار. كذلك المخلفات المدموكة يمكن نقلها إلى الدفن الأرضى بالمركبات التقليدية كما أن عمر الخدمة للردم الأرضى يمكن أن يزداد كثيراً (بحوالى ٦٠%)، ذلك بسبب صغر حجم المخلفات المطلوب دفنها. عند منطقة الردم الأرضى، يمكن أن يتم رص هذه العبوات فى مكان بدون حدوث مشاكل حمل الهواء للمخلفات، احتمال احتواء الزواحف والحيوانات والحشرات يقل، متطلبات تغطية التربة تقل، وكذلك تقل الحاجة إلى الدمك فى الموقع. أحياناً يتم ترك هذه العبوات التى تكون فى شكل أكياس أو بالات بدون أى تغطية مؤقتاً.

التحلل (للتسميد): (Composting)

التحلل هو العملية التى يتم فيها تحلل الجزء العضوى من المخلفات الصلبة تحت ظروف محكمة. فهى عملية بيولوجية أكثر منها عملية كيماوية أو ميكانيكية، التحلل والتحول لمادة المخلفات يتم بفعل البكتريا، الفطريات والكائنات الحية الصغيرة الأخرى.

التحلل فى أى مكان يتم استخدامه يجب أن يكون جزءاً من نظام الإدارة الكلى الذى يتعامل مع مكونات أخرى من تدفقات المخلفات الصلبة مثل الجزء العضوى. فى بعض التطبيقات، يمكن خلط حمأة الصرف الصحى والمخلفات الزراعية مع الجزء العضوى من المخلفات المنزلية الصلبة.

مع التحكم الجيد فى الرطوبة، درجة الحرارة، والتهوية، فإن وحدة التحلل للمواد العضوية يمكنها خفض حجم المادة العضوية الخام بنسبة حتى ٥٠%. هذا بالإضافة إلى أن التحلل للتسميد يمكن أن يثبت المخلفات وينتج منتجات نهائية التى يمكن تدويرها للاستخدام المفيد. المنتج النهائى يسمى خليط التسميد (Compost)، فهو يشبه التربة الفخارية وله رائحة التربة، ويستخدم فى تحسين خواص التربة ولغرس المهاد.

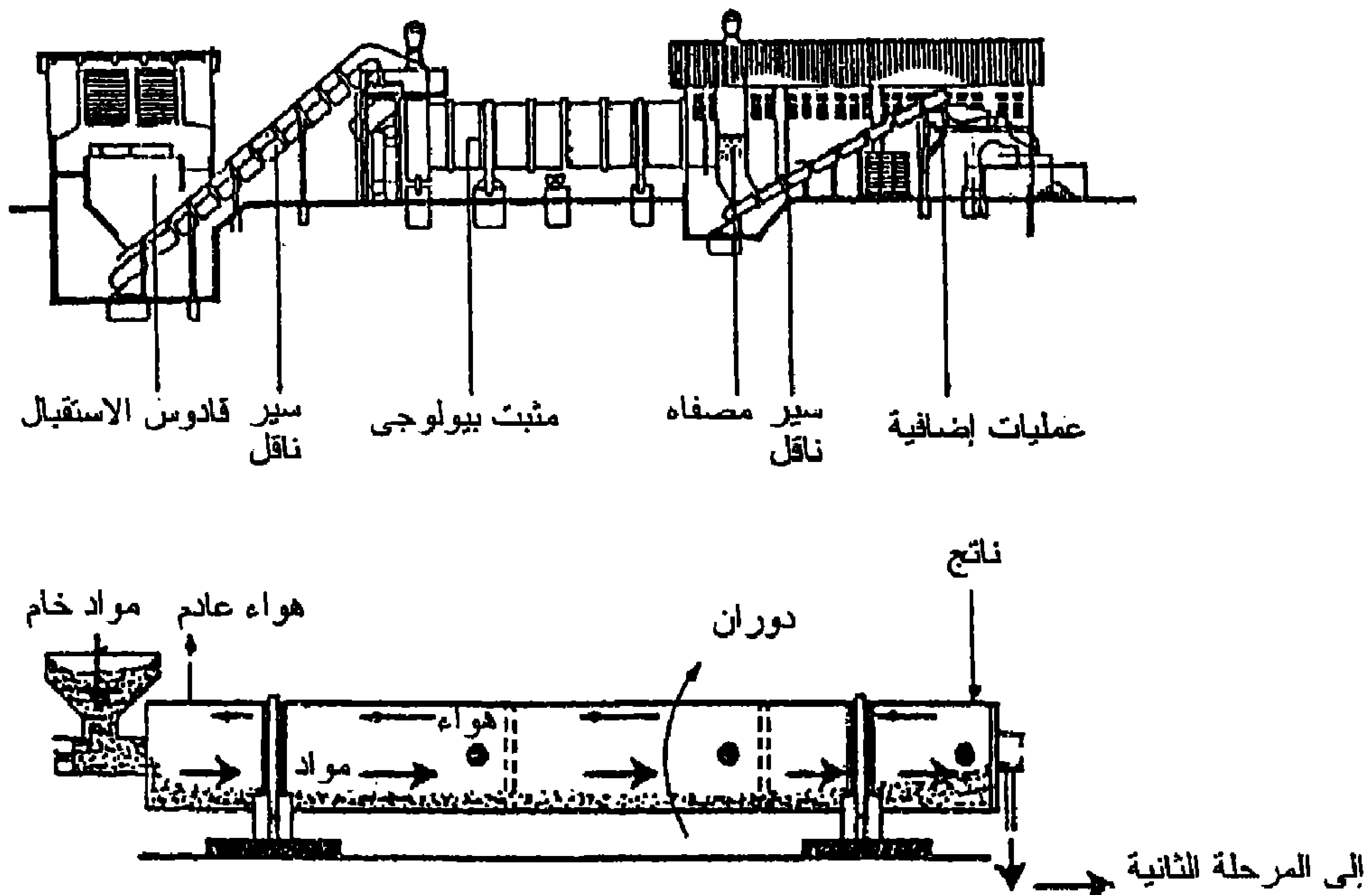
عملية التحلل الكاملة للمخلفات المنزلية الصلبة تشمل التصنيف، والفصل، التقطيع، والطحن، والهضم، تحسين المنتج وأخيراً التسويق. عمليات التصنيف والعزل مطلوبة لعزل المواد العضوية القابلة للتحلل البيولوجى من مواد البلاستيك والزجاج والمعادن، والمواد الأخرى الغير قابلة للتحلل البيولوجى. عمليات التقطيع والطحن تساعد فى خفض حجم القطع من المخلفات العضوية الصلبة، بما ينتج عنه كتلة متجانسة من المادة. هذا يسهل التداول، التحكم فى الرطوبة وتهوية المخلفات التى تتحلل. كذلك فإن خفض الحجم يساعد فى زيادة نشاط البكتريا ويزيد من معدل التحلل. بعد خفض الحجم، تكون المخلفات جاهزة لخطوة التحلل أو الهضم والذى يمكن أن تحدث فى صفوف هوائية (Windrows) أو فى تجهيزة ميكانيكية مقفلة.

الصف من المخلفات المعرض للهواء (windrow) هو كومة طويلة منخفضة من المخلفات العضوية المعدة، عادة باتساع ٣ أمتار عند القاع وحوالى، متر ارتفاع. معظم الصفوف الهوائية تكون ذات مقطع قمعى وبطول حوالى ٥٠ متراً. المخلفات يتم تهويتها من آن إلى آخر بتقليب كل صف رياح. يمكن عمل ذلك يدوياً باستخدام شوكة تقليب، ولكن فى الحالات حيث ضخامة حجم المخلفات فإن ذلك يتم ميكانيكيا باستخدام ماكينات ذات تصميم خاص. بعض من هذه الماكينات يقلب ويعيد بناء الصف المقلوب قريباً من مكانه الأصلى شكل (٤/٦).

التقليب أحياناً يتغير طبقاً للمحتوى من الرطوبة وعوامل أخرى. عند استمرار المحتوى من الرطوبة عند حوالى ٥٠%، يتم تقليب الصف الهوائى مرتين أو ثلاث مرات فى الأسبوع وفى بعض الحالات يومياً.

عموماً عملية التحلل للصفوف الهوائية فى المجال المفتوح تستغرق حوالى خمسة أسابيع لهضم أو لتثبيت مادة المخلفات. يكون أحياناً مطلوب ثلاثة أسابيع إضافية لتأكيد تمام التثبيت. درجة الحرارة فى صف التحلل الهوائى قد تصل إلى ٦٥ْم بسبب الآيض الطبيعى للكائنات التى تألف الحرارة والتى تعيش عند درجة الحرارة المرتفعة هذه. درجة الحرارة المرتفعة نسبياً تقتل معظم الكائنات المسببة للأمراض التى يمكن أن تكون موجودة فى المخلفات.

الصف الهوائى فى المجال المفتوح للتحلل يحتاج إلى مساحات أرضية كبيرة نسبياً، تجمع سكانى تعداده ٢٥٠,٠٠٠ ألف نسمة كمثال، يحتاج إلى ٢٤ هكتاراً (٦٠ فداناً) من الأراضى لعمل نظام التحلل للمخلفات المنزلية الصلبة. لخفض الحاجة إلى الأراضى، توجد أنواع مختلفة من النظم الميكانيكية المغلقة يمكن أن تستخدم بدلاً من طريقة الحقول الهوائية المفتوحة. النظام المقفل يقلل المساحات الأرضية المطلوبة لخدمة ربع مليون فرد إلى السدس أى من ٢٤ هكتاراً إلى ٤ هكتارات. توجد أنواع مختلفة من النظم الميكانيكية. يتم توفير الأكسجين لمادة المخلفات بدفع الهواء، التقلب، مثال للنظام المستخدم فى الاسطوانة الدوارة لتقليب المخلفات موضح فى الشكل (٤/٦).



شكل (٤/٦) نظام ميكانيكى مغلق

بالإضافة إلى خفض مساحات الأرض اللازمة، فإن النظام الميكانيكى المقفل يمكنه خفض الزمن اللازم للتثبيت من خمسة أسابيع إلى أسبوع واحد. بعض النظم الميكانيكية تستخدم العديد من الأوانى المقفلة أو الخزانات لهضم المخلفات. يمكن تجهيزها بريش تقليب دوارة لخلط مادة المخلفات المفتتة وتسهيل التهوية. فى بعض النظم، يتم دفع الهواء المضغوط إلى الوعاء للتهوية.

قبل بيع المادة العضوية التى تم تثبيتها للاستخدام كسماد ولتحسين نوعية التربة، فإنه يجب معاملتها لتحسين نوعيتها ومظهرها، وهذا يشمل التجفيف، (فرز الأحجام الكبيرة)، التحبيب، أحيانا يتم وضع المادة فى شكاير رغم أن المبيعات للكميات كبيرة أفضل اقتصادياً، أفضل مستخدم لهذه المواد هى الزراعة.

المواد العضوية المثبتة هذه يمكنها زيادة المحتوى العضوى والغذائى للتربة ويحسن من شكلها وقدرتها على الاحتفاظ بالرطوبة.

التحلل المشترك : (Co - Composting)

مثال للإدارة المتطورة للمخلفات هو التحلل المشترك للمخلفات الصلبة المنزلية وحمأة الصرف الصحى. حمأة الصرف الصحى تضيف النيتروجين والفوسفور والعناصر الأخرى التى تضيف فائدة إلى المخلفات الصلبة وتساعد فى عملية التحلل. الحمأة يتم أولا سحب المياه منها بحيث لا تضيف كثيراً من الرطوبة إلى كومة التحلل. الحمأة التى أزيل الماء منها والجزء العضوى من المخلفات الصلبة المنزلية يجب خلطهم جيداً. عند تحلل الحمأة وحدها أو بالاشتراك مع المواد العضوية من المخلفات المنزلية، فإنه يمكن استخدام طريقة الصف الهوائى الاستاتيكية أو القلابات الميكانيكية لتهوية المخلفات. فى طريقة التهوية الاستاتيكية يتم دفع الهواء المضغوط إما إلى أعلا خلال المخلفات أو إلى أسفل كما هو موضح فى الشكل (٤/٧-أ). طول ماسورة مثقبة بقطر حوالى ٦ بوصة (١٥٠ مليمتر) يتم وضعه تحت الصف، الذى يكون تقريباً بنفس الحجم والشكل مثل الصف الهوائى الذى يتم تهويته بطريقة التقليب. الصف الهوائى يمكن تغطيته بطبقة من المادة التى تم تحللها لتمتص أى رائحة غير مقبولة. يتم دفع الهواء فى (أو خارج) باستخدام هوايات لمدة خمس دقائق على فترات كل ١٥ دقيقة.



شكل (٤/٧) مخطط لنظام الكومة الاستاتيكية المهواه

٤- التدوير : (Recycling)

الأنشطة السكانية، التجارية، الصناعية والمؤسسية دائماً ما تنتج مخلفات صلبة. ولكن النظرة العامة لمكونات المخلفات أى المادة الغير مفيدة والغير مرغوب فيها دائماً تتغير. مع زيادة وعى المجتمعات لمعنى البيئة ومتطلباتها وكذلك انكماش المساحات الفضاء من الأراضى المناسبة للردم الأرضى للمخلفات فإن الحاجة إلى استعادة وإعادة الاستخدام لكثير مما كان يلقى فى الماضى أو يتم ردمه أصبح من الأمور الهامة. كذلك فإن تكاليف التخلص من مادة المخلفات الصلبة بطريقة صحيحة بيئياً جعل من الضرورى النظر فى تقنيات بديلة لإدارة المخلفات.

الطريق المثالى إلى الإدارة الصحيحة للمخلفات هى أولاً تخفيض المخلفات من المنبع ثم استعادة المواد الصالحة لإعادة الاستخدام من مسار المخلفات قبل التخلص. يتم ذلك بالتدوير، أى بفصل وإعادة استخدام هذه المكونات من مسار المخلفات ذات القيمة الاقتصادية.

التدوير يعيد مختلف المواد إلى الدورة الإنتاجية والمحافظة على الموارد المختلفة على طول الطريق. بعض المواد، مثل الألومنيوم، والصلب، يمكن تدويرها مرات عديدة. الطاقة وكذلك المادة يمكن تدويرها. المحارق لاستعادة الموارد هى مثال حيث تستعاد

الطاقة الحرارية وذلك باستخلاص المحتوى الحرارى وتحويله إلى البخار وحتى إلى الطاقة الكهربية. التحلل هو مثال للعملية التى تسمح بتدوير المكون العضوى للمخلفات العضوية الصلبة. ولكن عادة عند التفكير في التدوير، فإنه يكون بخصوص الجمع، التعامل، إعادة بيع المواد الموجودة عادة فى المنازل، المنشآت.

المواد القابلة للتدوير : (Recycable Materials)

كثيراً من المواد يمكن تدويرها. بعض المواد تكون نتيجة إنتاج تجارى أو صناعى ولا تدخل فى مسار المخلفات الصلبة. المكونات الرئيسية للمخلفات المنزلية الصلبة ذات بعض القيمة الاقتصادية وقابلة للتدوير تشمل المعادن، الورق، الزجاج، البلاستيك.

المعادن :

المعادن تنقسم إلى معادن حديدية ومعادن غير حديدية. المعادن الحديدية تحتوى على الحديد وهو مغناطيسى، المعدن الغير حديدى لا يحتوى على الحديد وهو غير مغناطيسى، الصلب، كمثال معدن حديدى، والألومنيوم معدن غير حديدى.

رغم أن الألومنيوم هو من أصغر مكونات المخلفات المنزلية الصلبة (أقل من ١,٥%)، إلا أنه من المكونات ذات القيمة العالية من المواد التى يتم تدويرها. وهو من أهم المعادن الموجودة بوفرة فى القشرة الأرضية، ولكن عملية الاستخلاص للألومنيوم من الخام مكلفة نسبياً. نظراً لأن الألومنيوم الجديد مكلف نسبياً فإن الألومنيوم الذى يتم تدويره له سوق قوية ويلعب دورا كبيرا فى صناعة الألومنيوم. الألومنيوم الخردة يمكن فصله مغناطيسياً من المعادن الحديدية، المفتتة فى وحدة الطرق (Hammer Mill) ونقلها إلى وحدة الصهر. حوالى ٣٨% من إنتاج الألومنيوم يعاد تدويره. معظم الألومنيوم الذى يتم تدويره يأتى من علب المشروبات ويستخدم لعمل علب جديدة.

المعادن الحديدية تشكل حوالى ٥% من المخلفات المنزلية الصلبة ومعظمها يكون فى شكل العلب من الصلب (الصفيح). العلب الصفيح تصنع من الصلب ثم تغطى بالقصدير لخفض التآكل وتثبيت المذاق للطعام والمشروبات ويمكن إزالة طلاء القصدير من العلب المستخدمة، رغم أن تكنولوجيا صناعة الصلب يمكنها تداول حتى ١٠% من القصدير فى تدوير الصلب. يوجد سوق للصلب الخردة لا حدود له تقريباً. يتم تدوير ١٥% من الإنتاج السنوى للصلب.

الورق :

يشكل الورق والمنتجات الورقية أكبر جزء من المخلفات المنزلية الصلبة. معـدلات التدوير تتغير طبقا لنوع الورق. ورق الصحف القديمة كمثال، له معدل اسـتعادة بنـسبة ٣٠%، بينما الورق المموج له نسبة استعادة حوالى ٥٠%، بعض أنواع الورق الأخـرى التى يمكن تدويرها تشمل، ورق الأعمال المكتبيـة، ورق الكرتـون، أكيـاس الـورق، المجلات، الورق الذى يتم تدويره يستخدم فى أغراض مختلفة، ولكنه لـيس فـى كفـاءة الجديد بعد معالجته. الشعيرات تضعف ويكون من الصعب التحكم فى لون المنتج الذى يتم تدويره. قوانين حماية الصحة تمنع استخدام الورق الذى تم تدويره فى صـناعة أوعيـة للمواد الغذائية وذلك لمنع احتمال حدوث التلوث. عادة تكون التكلفة أقل فى حالة نقل لب الورق الخام عنه بالنسبة للورق من المخلفات، حيث الجمع، الفرز والنقل تمثل ٩٠% من تكاليف التدوير للورق وعملية إنتاج اللب (Pulping) وإزالة الأحبار وفرز المخلفات تكون عادة أكثر تكلفة مقارنة بصناعة الورق من الخشب أو من شعيرات السيليلوز.

من الملاحظ عادة أن تدوير الورق سيساعد فى الحفاظ على الغابات، حيث أنه يلـزم حوالى ١٧ شجرة لصناعة طن واحد من الورق. ولكن تجفيف كثافة الغابات يزيـد مـن إنتاجيتها ولذلك فإنه من الناحية الإيكولوجية يكون تدوير الورق لا يؤدى بالضرورة إلـى المحافظة على الغابات.

الزجاج :

يشكل الزجاج حوالى ٧% من المخلفات المنزلية الصلبة ومعدل استعادته هو حوالى ٢٠%، معظم المخلفات الزجاجية تكون من أوعية المواد الغذائية والمشروبات. الزجـاج هو المادة الغير مزعجة ضمن المخلفات الصلبة. فهو مادة خاملة وغير ملوثة ومـصنعة أساساً من رمل السيليكا وبعض الموارد الطبيعية. ورغم هذا فإنه توجد حاجـة وسـوق رائجة للمخلفات من الزجاج. ولكن تدوير الزجاج له فائدة فقط فى حالـة فـرزه طبقـا للألوان. ثم طحنه لعمل زجاج جديد.

الزجاج المطحون (Cullet) يمكن إعادة صهره لإنتاج دفعة جديدة من الزجاج، يقدر قيمة الزجاج المطحون الصالح لإعادة صهره بحوالى ٣٠% من المادة اللازمـة لإنتـاج زجاجات التعبئة الجديدة. فى حالة خلط كميات من الزجاج ذات ألـوان مختلفـة (مثـل الرائق، البنى، والأخضر) فإن الخليط المطحون تكون قيمتـه أقـل لـصناعة العبـوات

الزجاجية الجديدة. لذلك فإنه فى كثير من مراكز التدوير يتم فرز الزجاج لمنع خلط الألوان المختلفة.

البلاستيك :

البلاستيك مادة غير قابلة للتحلل البيولوجى، وهى من المنتجات البترولية وتشكل حوالى ٩% من المخلفات المنزلية الصلبة. مواد البلاستيك من الصعب تدويرها ذلك لكثرة أنواع راتنج البلمرات المستخدمة فى صناعتها. لتكون ذات قيمة عالية. فإنه يتم فرز البلاستيك طبقاً للنوع، فى حالة الخلط، فإن المادة يمكن استخدامها فقط فى صناعة منتجات ذات نوعية متدنية.

نظراً لأن كثيراً من الناس يجدون صعوبة فى التعرف على الأنواع المختلفة من البلاستيك، فإنه تم عمل كود أو رمز للتدوير، حيث عادة يتم ختمه على كل منتجات البلاستيك التى يتم تدويرها. فمثلاً، كود لنوع البلاستيك PET هو I وذلك للبولى إيثيلين تترافثاليت (Polyethlene Tetraphthalate) وبالنسبة HDPE (البولى إيثيلين عالى الكثافة) الرقم الكودى هو ٢.علب المشروبات تكون مصنوعة عادة من (PET) وأوعية اللبن والمنظفات تصنع من (HDPE).

مساهمة البلاستيك فى مسار المخلفات ينمو بالنسبة لكل من الوزن والحجم حيث أن كثيراً من الشركات تعتمد على منتجات البلاستيك والتعبئة. جميع الأوعية من البلاستيك مازال يمثل مشكلة، ولكن بسبب الحجم الكبير وليس للكثافة القليلة جداً. فنرى أن معظم حجم أوعية البلاستيك يكون الهواء، وهذا يشكل صعوبة فى عربات الجمع ذات الحجم المحدود.

أنقاض البناء والهدم :

هذا النوع من المخلفات الصلبة وإن كان لا يعتبر من المخلفات المنزلية والذى هو أنقاض البناء والهدم. هذه المادة تحتوى على الأخشاب، الخرسانة، الطوب، المعادن، ونظراً لأن مساحات الأراضى للردم الأرضى أصبحت محدودة ومكلفة فإن معظم هذه المكونات يتم تدويرها. التدوير دائماً يتم عند المصدر وذلك بفصل هذه المكونات من الأخشاب والطوب والمواد الأخرى لنقلها إلى السوق.

من بين المواد التى يعاد استخدامها الخشب، الأسفلت، الخرسانة أما الجبس فهو بدرجة أقل فى التدوير. المواد المعدنية التى يعاد تدويرها وكذلك الأخشاب تكون ذات أعلى معدل فى التدوير.

الخرسانة من الأسمنت البورتلاندى، الخرسانة الأسفلتية تتكون معظمها من الركام (الزلط والرمل). أنقاض الخرسانة يمكن طحنها وتدويرها كبديل لركام تأسيس الطرق خاصة فى الأماكن حيث الركام والتربة الزلطية شحيحة.

بعض المواد الأخرى التى يمكن تدويرها :

المطاط المستخلص يجب تقطيعه بواسطة ماكينات تقطيع خاصة وتفتيته كيماوياً قبل إعادة تشكيله. المطاط المنتج بهذه الطريقة يسمى المعاد تقسيته (Revulcanization)، وعادة ليس بقوة المنتج الأصلى. كبديل لإعادة التقسية فأن استخدام المطاط المفتت فى رصف الأسفلت يتم تطويره بواسطة المهندسين. استخدام آخر لإطارات المطاط الكهنة هو لتزيين ملاعب الأطفال. بعض من الإطارات الكهنة يستخدم فى محطات إنتاج الطاقة ومصانع الأسمنت كوقود. إطارات المطاط توفر طاقة أعلا من الطاقة المنتجة من الفحم وتحترق أكثر نظافة. درجات الحرارة حتى 1900°م تدمر معظم الملوثات العضوية.

كما أن المنسوجات الكهنة يعاد استخدامها وكذلك يعاد استخدام زيت محرك السيارة.

الفصل عند المصدر : (Source Separation)

قبل استخدام المادة القابلة للتدوير فإنه يجب فصلها من كتلة المخلفات وفرزها مع المواد الأخرى من نفس النوع أو الدرجة، يمكن فصل هذه المواد القابلة للتدوير عند مصدرها أو نقطة إنتاج المخلفات بواسطة صاحب النشاط أو صاحب المنزل، أو يمكن الفصل فى مصنع مركزى لمعالجة وتداول المخلفات.

٥- الردم الأرضى الصحى : (Sanitray Land Fills)

من أقدم الطرق وأكثرها استخداماً للتخلص النهائى من المخلفات الصلبة هو الردم الأرضى. التخلص من المخلفات الصلبة فوق سطح الأرض فى شكل أكوام لم يعد يستخدم حالياً نظراً لما يسببه من تلوث للبيئة ونقل للأمراض ومأوى للزواحف والحشرات والحيوانات الضالة وروائح كريهة واحتمالات حدوث حرائق هذا بالإضافة إلى ما يسببه من تلوث للمياه السطحية والجوفية. حالياً يتم التخلص من المخلفات الصلبة فى حفر الردم الأرضى الصحية. وهذه عبارة عن إنشاء هندسى مصمم للتخلص من المخلفات الصلبة،

أى أنه مصمم ومنشأ ويتم استخدامه بطريقة بيئية صحيحة لا تهـدد الـصحة العامـة أو الأمن، كما تقلل من المضايقات مثل الهوام والروائح..الخ.

توجد ثلاث خواص أساسية لحفر الردم الأرضى الصحى تميزها عـن الـردم فـى كومات فوق سطح الأرض :

١- توضح المخلفات الصلبة فى موقع الردم الأرضى (المبطن) الذى يتم اختياره بعناية وبطريقة صحيحة.

٢- تنشر مادة المخلفات ويتم دمكها باستخدام ماكينة دمك ثقيلة مناسبة.

٣- تغطى المخلفات كل يوم بطبقة من التربة المدموكة ربمـا أن تكـون أهـم المظاهر الحديثة لتصميم حفرة الردم الأرضى هو التقنيات المستخدمة فى منع تلوث المياه الجوفية.

الطاقة الكلية والعمر التصميمى لمنطقة الردم الأرضى الجديدة يتوقف علـى حجـم وطبوغرافية الموقع، معدل إنتاج المخلفات، درجة الدمك للمخلفات. كمية مـادة التربـة اليومية للتغطية تضيف تقريباً ٢٠% إلى الحجم الكلى للملء كما يجب أخذها فى الاعتبار عند تقدير طاقة منطقة الردم الأرضى. يجب أن يتوفر الحجم الكافى خلال منطقة العمـل للموقع بحيث تتوفر لمنطقة الردم الأرضى عمر تصميمى قدره ٢٥ عاماً. كلما زادت فترة عمر الخدمة المفيد للموقع، كلما كانت عملية إدارة المخلفات الصلبة اقتصادية للمجتمـع المخدوم. عموماً بالنسبة لطاقة منطقة الردم الأرضى فإن المقبول هو واحد هكتـار مـن الأرض مغطاة لعمق واحد متر أو واحد فدان مغطى لعمق ٨ قدم، مع دمك المخلفـات، وذلك لخدمة ١٠٠٠٠ شخص. المثال الآتى يوضح الحـسابات المتعلقـة بطاقـة الـردم الأرضى.

مثال :

تجمع سكنى تعداده ١٥٠٠٠ نسمة ينتج مخلفات بمعدل ٥ رطل للفرد يومياً. المتـاح منطقة ردم أرضى بمساحة ٢٥ هكتاراً، ذات عمق متوسط للمخلفات المدموكـة محـدد بحوالى ٢٠ قدم طبقاً للطبوغرافية المحلية للأرض. يقدر أن المخلفات المدموكة سـيكون لها وحدة وزن ١٠٠٠ رطل/ الياردة المكعبة وأنه سيؤخذ ٢٥% إضـافى مـن الحجـم بواسطة مادة التغطية. ما هو العمر المفيد لمنطقة الردم الأرضى.

الحل :

الوزن الكلى للمخلفات المنتجة فى العام هو .

٥ رطل للفرد / اليوم × ٣٦٥ يوم × ١٥٠٠٠٠ فرد

٢٧,٤ × ١٠^٦ رطل/العام

الحجم السنوى الكلى للمخلفات = ٢٧,٤ × ١٠^٦

عدد الياردات المكعبة فى العام = ٢٧٤٠٠ ياردة مكعبة.

الحجم الإضافى لمادة التغطية هو :

٠,٢٥ × ٢٧٤٠٠ = ٦٨٥ ياردة مكعبة/ العام.

لذلك الحجم الكلى لمنطقة الردم الأرضى المطلوب هو :

٢٧٤٠٠ + ٦٨٥٠ = ٣٤٢٥٠ ياردة مكعبة/ العام.

الحجم المتاح لمنطقة الردم الأرضى =

٢٥ هكتار × (٤٣٥٦٠ قدم مربع / ١ هكتار) × ٢٠ قدم × (١ ياردة مكعبة / ٢٧ قدم مكعب)

= ٨,٠٧ × ١٠^٥ ياردة مكعبة.

العمر المفيد للموقع يقدر بالآتى :

٨,٠٧ × ١٠^٥ ÷ ٣٤,٢٥٠ = ٢٤ عام.

ملحوظة :

بعد نهاية عمر الخدمة لمنطقة الردم الأرضى يستفاد منها فى إقامة الملاعب والمتنزهات والمساحات الخضراء وملاعب الجولف..الخ.

مثال :

قدر عدد الهكتارات من الأراضى ستكون مطلوبة لعمل موقع الردم الأرضى الصحية طبقاً للحالات الآتية :

العمر التصميمى للموقع ٣٠ سنة.

المعدل اليومى لإنتاج المخلفات ٢٥ نيوتن/ الفرد/ اليوم.

وزن وحدة الوزن فى المخلفات الصلبة المدمجة ٥ كيلو نيوتن/ المتر المكعب

متوسط عمق الملء ١٠ متر.

تعداد السكان ٥٠,٠٠٠.

الحل :

كمية المخلفات المنزلية الصلبة المنتجة كل عام هى :

٢٥ × N للفرد × ٣٦٥ يوم × ٥٠٠٠٠ = ٤,٥٦ × ١٠^{٦} KN/ العام

= ٤,٥٦ × ١٠^{٦} كيلو نيوتن فى العام.

حجم المخلفات المدموكة هو = ٤,٥٦ ١٠^{٥} كيلو نيوتن فى العام

= ٤,٥٦ × ١٠^{٥} كيلو نيوتن فى العام ÷ ٥ كيلو نيوتن/ م٣

= ٩١٢٥٠ متر مكعب فى العام.

الحجم الإضافى المطلوب للتغطية بالتربة هو :

٩١٢٥٠ ÷ ٤= ٣٢٨١٣ متر مكعب/ العام.

الحجم الكلى المطلوب هو ٩١٢٥٠ + ٢٢٨١٣ = ١١٤٠٦٣ م٣/ العام.

المساحة المطلوبة تحسب كالآتى :

المساحة = الحجم ÷ العمق = ١١٤٠٦٣ ÷ ١٠ = ١١٤٠٦ متر مربع.

حيث أن واحد هكتار = ١٠٠٠٠ متر مربع والعمر التصميمى هو ٣٠ سنة فإن المساحة الكلية المطلوبة للردم الأرضى يمكن حسابها كالآتى :

(١١٤٠٦ متر مربع ÷ ١٠٠٠٠ متر مربع) × ٣٠ سنة = ٣٤ هكتار.

(أرض إضافية تكون مطلوبة لطرق الاقتراب والمبانى وما شابه ذلك).

يتم اختيار مكان الردم الأرضى خارج المنطقة السكنية وبعيدا عن المسطحات المائية بمسافة لا تقل عن ٦٠ متر وبعيدة عن مهابط المطارات بمسافة لا تقل عن ١,٥ كيلومتر كما يكون عمق الحفر فوق أعلى منسوب لخط لمياه الجوفية بما لا يقل عن ٢متر.

ملوثات غسالة التربة (Leachate Contaminent)

أماكن الردم الأرضى الصحى تنتج كميات كبيرة من السائل عالى التلوث يسمى غسالة التربة (Leachate) ويعتمد تصميم منطقة الردم الأرضى على قدرة التربة الطبيعية فى ترشيح وامتصاص الملوثات. هذا المفهوم بخصوص التخفيف الطبيعى كان هو السائد، ولكن المفهوم الحديث مبنى على التحكم فى الملوثات ومعالجة غسالة التربة.

بعض غسالة التربة ينتج مباشرة من الرطوبة وتحلل القمامة العضوية القابلة للتحلل فى المخلفات الصلبة، ولكن معظمها يأتى من مياه الأمطار أو من المياه السطحية والتى تترشح فى المخلفات ثم تتسرب إلى أسفل خلالها. الالتصاق المباشر مع المخلفات ينتج عنه تلوث شديد لهذه المبانى. وفى حالة وصول مياه غسالة التربة إلى المياه الجوفية أو أن تتسرب إلى مجرى مائى فإنه يحدث تلوث خطيراً جداً.

وعموماً فى المناطق الجافة لا يحدث هذا النوع من التلوث.

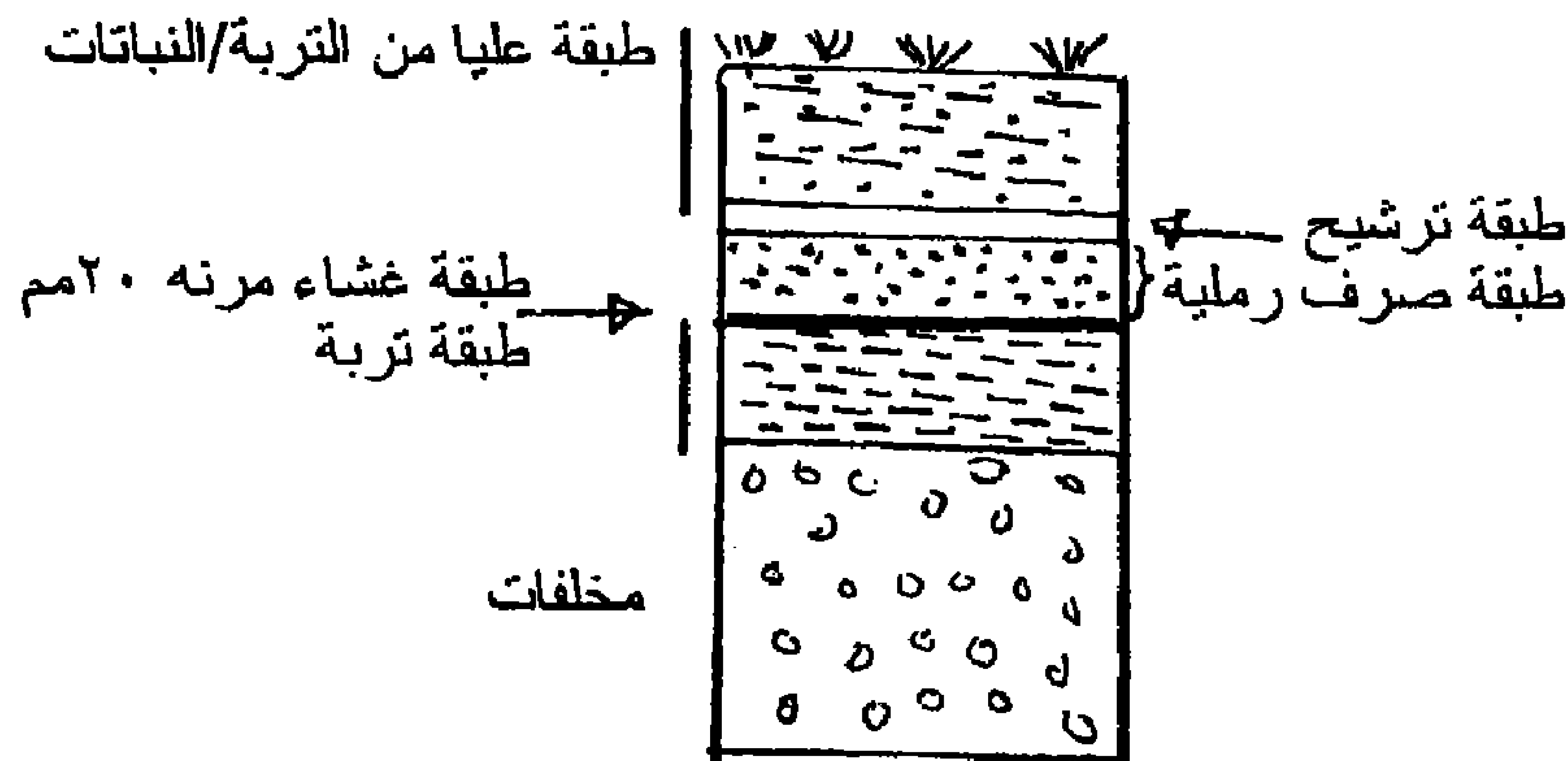
توجد طريقتين لمنع حدوث مشاكل غسالة المخلفات (Leachate) فى موقع الردم الأرضى الصحى أحد هذه الطرق هى التجهيز الهندسى للموقع لمنع دخول مياه الأمطار والسيول إلى منطقة الردم الصحى وذلك بعمل حواجز وقنوات توجيه. الطريقة الثانية هى بتوفير بطانة مانعة لنفاذ المياه بين المخلفات وطبقة التربة فوق الخزان الجوفى أسفلها.

السيطرة على المياه السطحية :

يمكن التحكم فى المياه السطحية وتحويلها بعيداً عن مكان الردم الأرضى بعمل الميل المناسب عموماً من ٦ – ١٢% ميل للغطاء اليومى يسمح للمياه بالصرف بحرية من منطقة الردم. القنوات المبطنة بالخرسانة أو حفر الصرف يمكن إنشاءها حول محيط الموقع لتوجيه سقوط الأمطار وجمع المياه من الموقع.

الغطاء النهائى أعلى منطقة الردم التى استكملت ينشأ بحيث يكون مانع لنفاذية المياه ويمنع تسرب مياه الأمطار فوق منطقة الردم الأرضى مباشرة، حيث يصمم ويدرج لمنع وصول المياه إلى المخلفات فى الردم. الغطاء يمكن أن يتكون من طبقة من التربة بسمك

لا يقل عن ٦٠سم بميل من ٣ – ٥%، ويكون أسفلها طبقة صرف من تربة رملية وطبقة من بطانة غشائية مرنة ذات نفاذية من التربة. شكل (٤/٨).

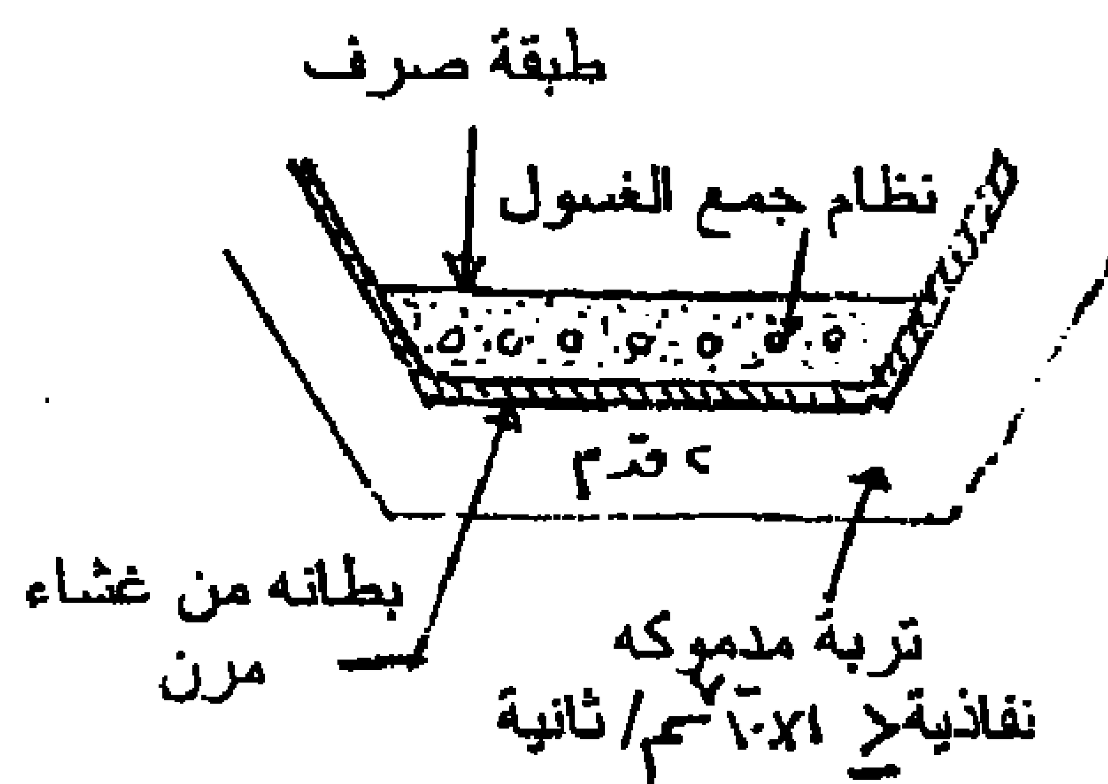


شكل (٤/٨) الغطاء النهائى لمنطقة الردم الأرضى للمخلفات المنزلية الصلبة

تبطين القاع : (Bottom Liners)

معظم مدافن الردم الصحى يتم إنشاءها بواسطة بطانة مركبة من مادة مخلفة فوق طبقة من الطفل بسمك ٦٠سم، وهذه تكون حاجز غير نفاذ الذى يحتوى غسالة التربة ويمنعها من الاختلاط مع المياه الجوفية. (فى بعض الحالات يمكن تغيير سمك ومكونات تبطين قاع حفرة الردم الصحى طبقاً للظروف المناخية والمحلية والهيدرولوجية).

المادة المخلقة تكون عادة من البولى إيثيلين عالى الكثافة وتسمى البطانة الغشائية المرنة وتوضع فوق طبقة أساس معدة بحرص لمنع اختراقها أو تموجها. مثال لمقطع فى طبقة مركبة موضح بالشكل (٤/٩). الطفلة يجب أن يكون لها معامل توصيل هيدروليكى أقل من ١ × ١٠$^{-٦}$ مليمتر/ الثانية. أى أن أى مياه الغسالة للتربة التى توجد وتدخل الطفلة ستتدفق بمعدل اقل من بوصة واحدة فى العام.



شكل (٤/٩) مقطع فى طبقة مركبة

جمع ومعالجة غسالات التربة : Leachate Collection And Treatment

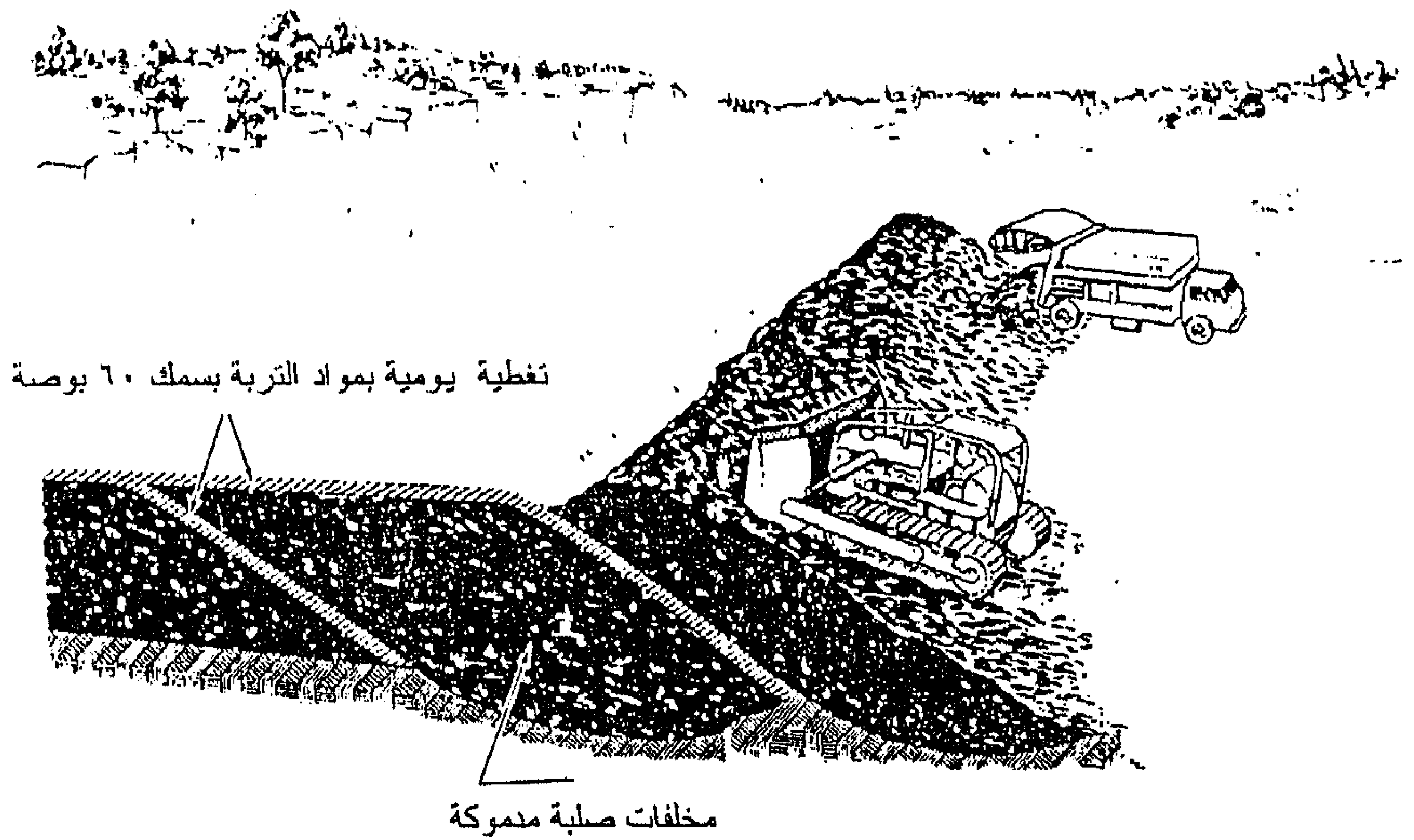
غسالات المياه التى يتم احتواءها بواسطة البطانة السفلية لا يسمح لها بالتراكم، حيث يجب جمعها ومعالجتها فى موقع مركزى قبل التخلص النهائى منها. البدائل للتخلص النهائى تشمل الصرف إلى محطة معالجة الصرف الصحى، أو استخدامها فى الأراضى، أو المعالجة فى الموقع ثم التخلص فى المجرى المائى. الشبكة من مواسير البلاستيك المثقبة الموضوعة فى طبقة الصرف الموجودة فوق البطانة الغير نفاذة مباشرة تستخدم عموما لجمع غسالات التربة. المواسير المثقبة التى تسمى الفرعات (بقطر ٤ بوصة) توجه هذه المياه إلى ماسورة تجميع ذات قطر أكبر وأخيراً إلى بيارة الجمع أو محطة الضخ. يتم عمل الإجراءات اللازمة للتفتيش والصيانة لتأكيد التدفق الحر لمياه الغسالات.

مياه غسالات التربة هى عموماً مياه صرف عالية التركيز تتصف بارتفاع المحتوى من الحمل العضوى (BOD) وانخفاض الرقم الهيدروجينى (PH)، واحتمال وجود مواد سامة.وهى أحيانا وليس دائما قابلة للمعالجة فى محطات المعالجة التقليدية لمياه الصرف الصحى. بالإضافة إلى المشاكل الفنية المتعلقة بالمعالجة والتخلص، فإن هناك اعتبارات قانونية بيئية يجب أن تؤخذ فى الاعتبار وكذلك مشاركة الأهالى. فى حالة توفر شبكة صرف صحى قريبة وأن طاقة محطة معالجة مياه الصرف تسمح بأحمال إضافية فإنه عادة يفضل معالجة غسالات التربة هذه فى محطات المعالجة المتاحة، ولكن هذه المياه من غسالات التربة قد تحتاج إلى بعض المعالجة المسبقة طبقاً لخواصها.

الإنشاء والتشغيل :

ظاهرة الإنشاء العادية لكل حفر الردم الصحى للمخلفات الصلبة المنزلية هى خلية المخلفات (Refuse Cell) وهى كتلة البناء الاساسية للردم الأرضى ويجب أن يتم إعدادها بطريقة صحيحة. طريقة المنحدر هى تلك التى يمكن استخدامها لإنشاء خلايا المخلفات كما هو موضح فى الشكل (٤/١٠).

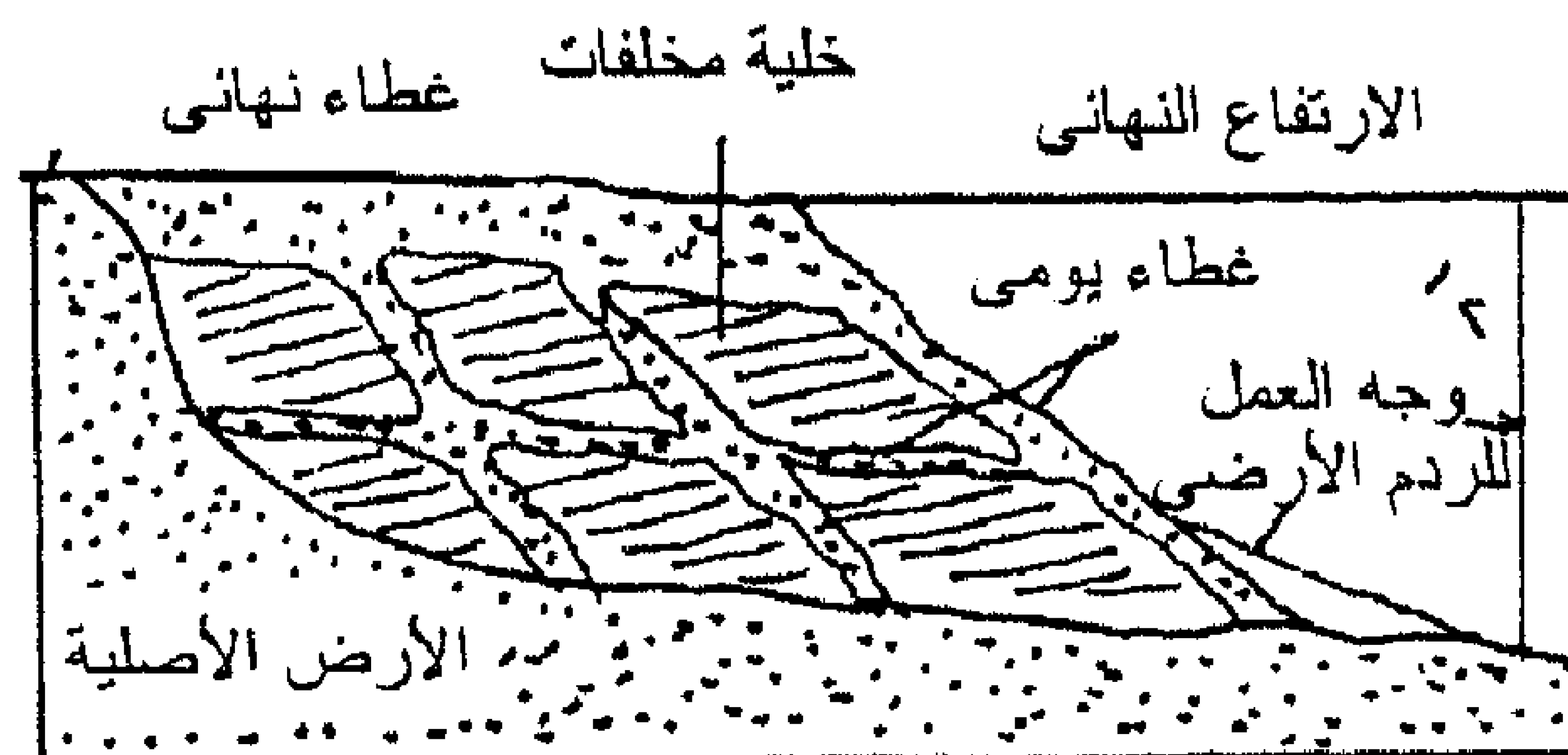
يتم نشر المخلفات القادمة ودمكها فى طبقات رقيقة فى جزء من الموقع. لضمان الدمك الجيد فإن هذه الطبقات عموماً لا يزيد سمكها عن واحد متر، العديد من مثل هذه الطبقات يتم وضعها ودمكها فوق بعضها البعض إلى أقصى ارتفاع قدرة ٣ أمتار. وحدة الوزن للمخلفات المدموكة هى حوالى ٦ كيلو نيوتن/ المتر المكعب (١٠٠٠ رطل/ الياردة المكعبة)، أكثر من أربعة أضعاف كثافتها المفككة الأولية عند جمعها.



شكل (٤/١٠) طريقة المنحدر لإنشاء الردم الأرضى،

حيث توضح المخلفات ويتم دمكها على المنحدر، التبطين للقاع غير موضح

عند نهاية كل يوم عمل يتم تغطية المخلفات المدموكة بطبقة من التربة والتى كذلك يمكن أن تصل إلى سمك ٦ بوصة (١٥سم)، كلا من المخلفات المدموكة وطبقة الغطاء من التربة يعملان خلية واحدة من الردم الأرضى الصحى. العديد من الخلايا المتجاورة كلها بنفس الارتفاع يكونون الرفع (Lift)، منطقة الردم الصحى الكاملة قد تتكون من عديد من الارتفاعات كما هو موضح فى الشكل (٤/١١). مادة التغطية يفضل أخذها من الموقع مباشرة أو نقلها من مكان آخر.



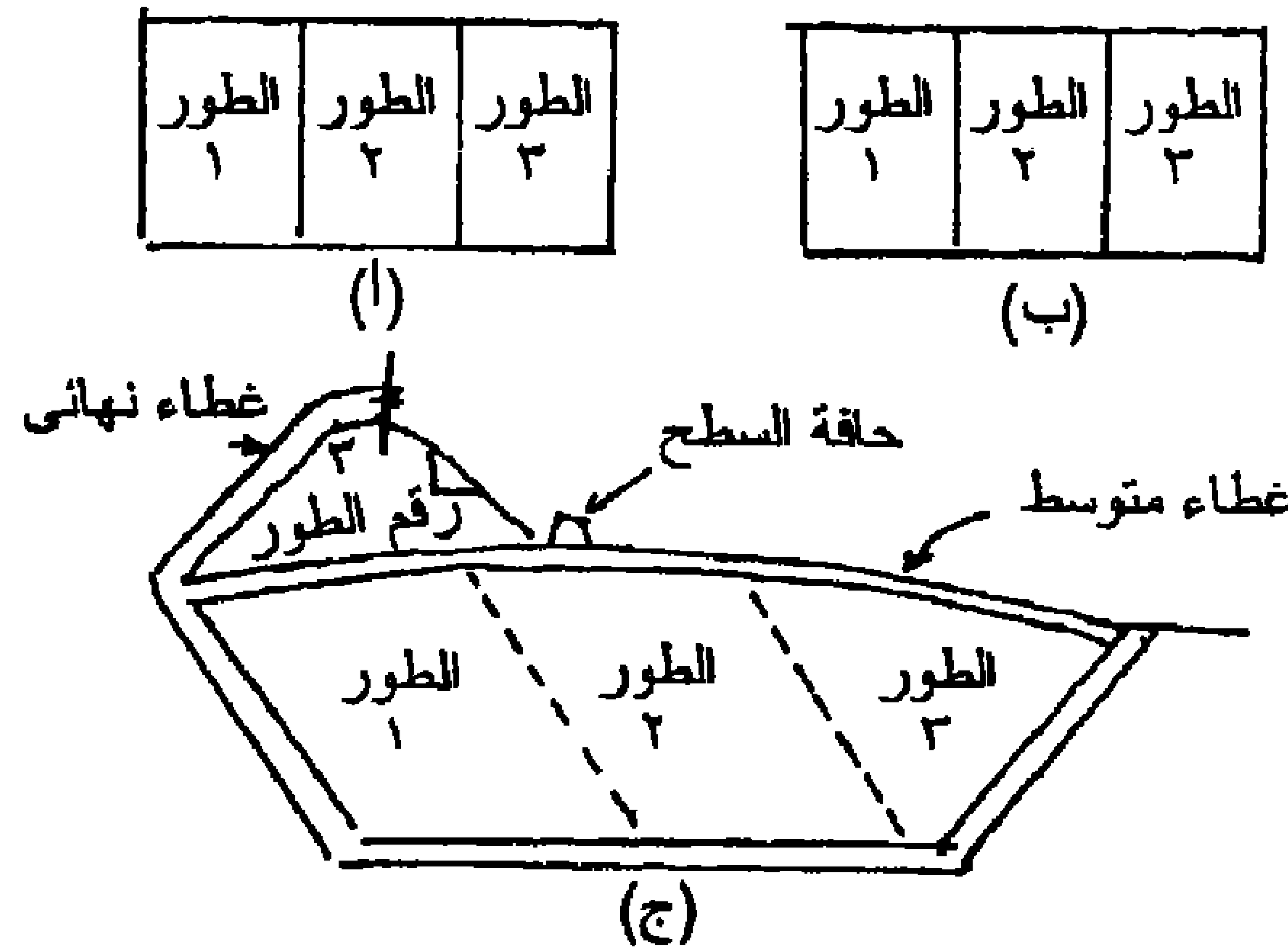
شكل (٤/١١) كتلة الردم الصحى الأساسية هى خلية مدموكة من المخلفات الصلبة، والتى تنفصل عن الخلايا الأخرى بطبقة من التربة المدموكة (تفاصيل الغطاء والبطانة السفلية غير موضحين)

التغطية اليومية بمواد التربة تفيد فى أغراض عديدة، رغم أنها تستخدم جزءاً من حجم حفرة الردم الصحى، فهى تقلل الرائحة، والمخلفات التى قد تحملها الرياح، وتجنب مخاطر حدوث الحريق، كما تقلل من مخاطر انتقال الامراض المعدية (مثال/ الفئران، الذباب) وتحسن من حالة الموقع والاقتراب منه. عندما تكون منقطة الردم الأرضى الصحى قد استكملت، فإن الغطاء الذى يوضع على أعلى طبقة يجب أن يكون مانعا لنفاذية المياه ودخولها، كذلك يمكن تغطية هذا الغطاء بطبقة من التربة بسمك ٦ بوصة .

يلزم أنواع مختلفة من المعدات الثقيلة فى موقع الردم الأرضي الصحى للمخلفات المنزلية الصلبة وذلك لنشر ودمك المخلفات وكذلك لنقل، ونشر، ودمك الغطاء من مادة التربة فمثلاً يستخدم البلدوزر للنشر والدمك.

مناطق الردم الصحى كبيرة قد تحتاج إلى العديد من المعدات الإضسافية بما فيها القصابيات هذه المعدات تقوم بالحفر والنقل ونشر مادة التغطية عندما تزيد مسافة النقل عن مجال البلدوزر (حوالى ١٠٠متر). معدات مدافن الردم الصحى الخاصة مثل معدة الدمك ذات الإطارات من الصلب يمكن استخدامها للحصول على دمك ذو كثافة أعلى للمخلفات. الإطارات الضخمة المسننة تعمل كحمل تركيز، وتوفر ضغط دمك أكبر مقارنة بالمعدات التقليدية ذات الإطار من المطاط. خطة الأطوار (Phasing Plan) تعتبر هامة لتشغيل مدافن المخلفات الأرضية الضخمة – هذه ببساطة تعنى أن مساحات مختارة من موقع دفن المخلفات يتم جدولته لاستقبال الغطاء النهائى بتسلسل معين، بعد الوصول إلى المرحلة النهائية. عندما يزيد العمق الكلى لمدفن الردم الصحى عن ٩ متر من القاع، فإنه عادة يستخدم غطاء متوسط عند منتصف العمق كما هو موضح فى الشكل (٤/١٢) الغطاء المتوسط يكون من طفلة التربة بسمك ٦٠سم (٢قدم) فوق المساحة، يتم البدء فى أطوار أخرى أعلى الأطوار السفلى.

تسلل واتجاه الملء يجب توضيحه فى خطة الأطوار، يجب إعدادها لتأكيد أن كل المخلفات تم التخلص منها فى مكانها النهائى. فى المساحات المستوية أو حيث طريقة إنشاء المدفن الصحى بالمنحدر قد لا تكون مناسبة، يتم إعداد خندق حفر تم تبطينة لاستقبال المخلفات شكل (٤/١٢).



شكل (٤/١٢) مسقط لأطوار الردم الأرضي متعدد الأطوار

(أ) الطور السفلى (ب) الطور العلوى (جـ) المقطع.

غاز مدافن الردم الصحى : (Land Fill Gas)

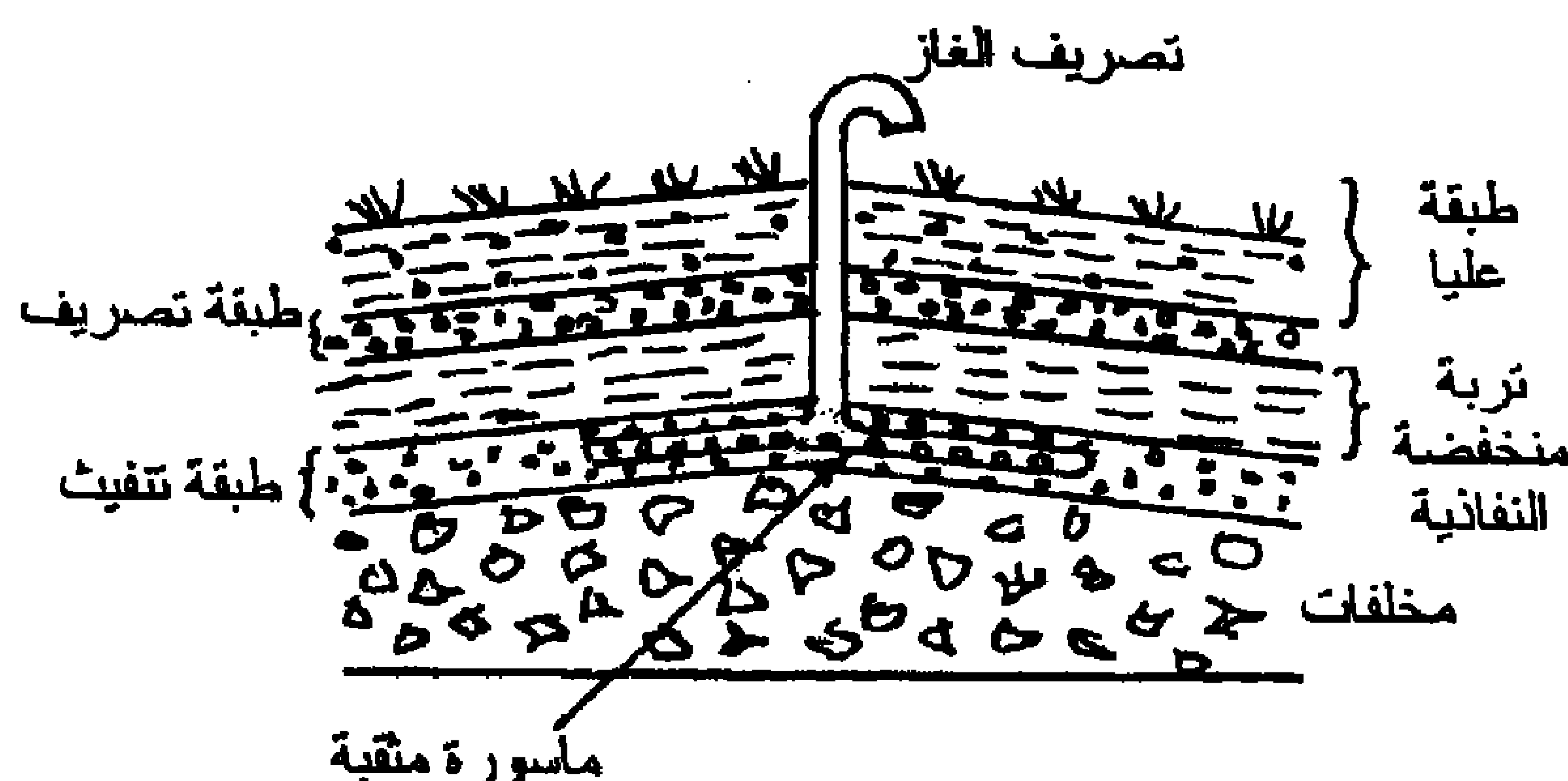
المادة العضوية المدفونة فى المخلفات الصلبة سوف تتحلل بفعل الكائنات الحية الدقيقة. معدل التحلل يتوقف أساساً على كمية الرطوبة الموجودة فى المخلفات. معدل التحلل يسير بمعدل سريع نسبياً عندما تزداد نسبة المحتوى من الرطوبة عن ٥٠% ولكن التحلل الكامل للمخلفات وتثبيت مكونات الدفن الصحى من المخلفات يستغرق حوالى ٢٠ عاماً.

أولاً، تتحلل المخلفات هوائياً حتى استخدام الأكسجين الموجود فى المخلفات التى تم وضعها طازجة بواسطة الكائنات الهوائية. ثم يستمر التحلل اللاهوائى منتجاً غاز الميثان (CH_4)، وغازات أخرى نتيجة تحلل المواد العضوية. غاز الميثان المخلوط مع الهواء بتركيزات ما بين ٥ إلى ١٥% شديد الانفجار. وهو سام كذلك ويمكن أن يسبب الوفاة بسبب استنشاقه.

غاز الميثان يسرى فى المسار حيث أقل مقاومة، حيث يمكنه الانتقال لمسافات أفقية طويلة خلال الطبقات المسامية للرمل أو للزلط. يمكن حدوث حالات خطرة فى حالة ارتفاع الغاز إلى السطح ويتراكم فى المبانى أو البدرومات أو أى مساحة مغلقة. لقد حدثت حالات انفجار خطيرة وتسببت فى فقد الأرواح فى الماضى والذى يمكن تجنبه بالتصميم والتنفيذ الجيد لمدافن المخلفات. ذلك لأن احتمال تسرب الغاز خلال خلايا المخلفات

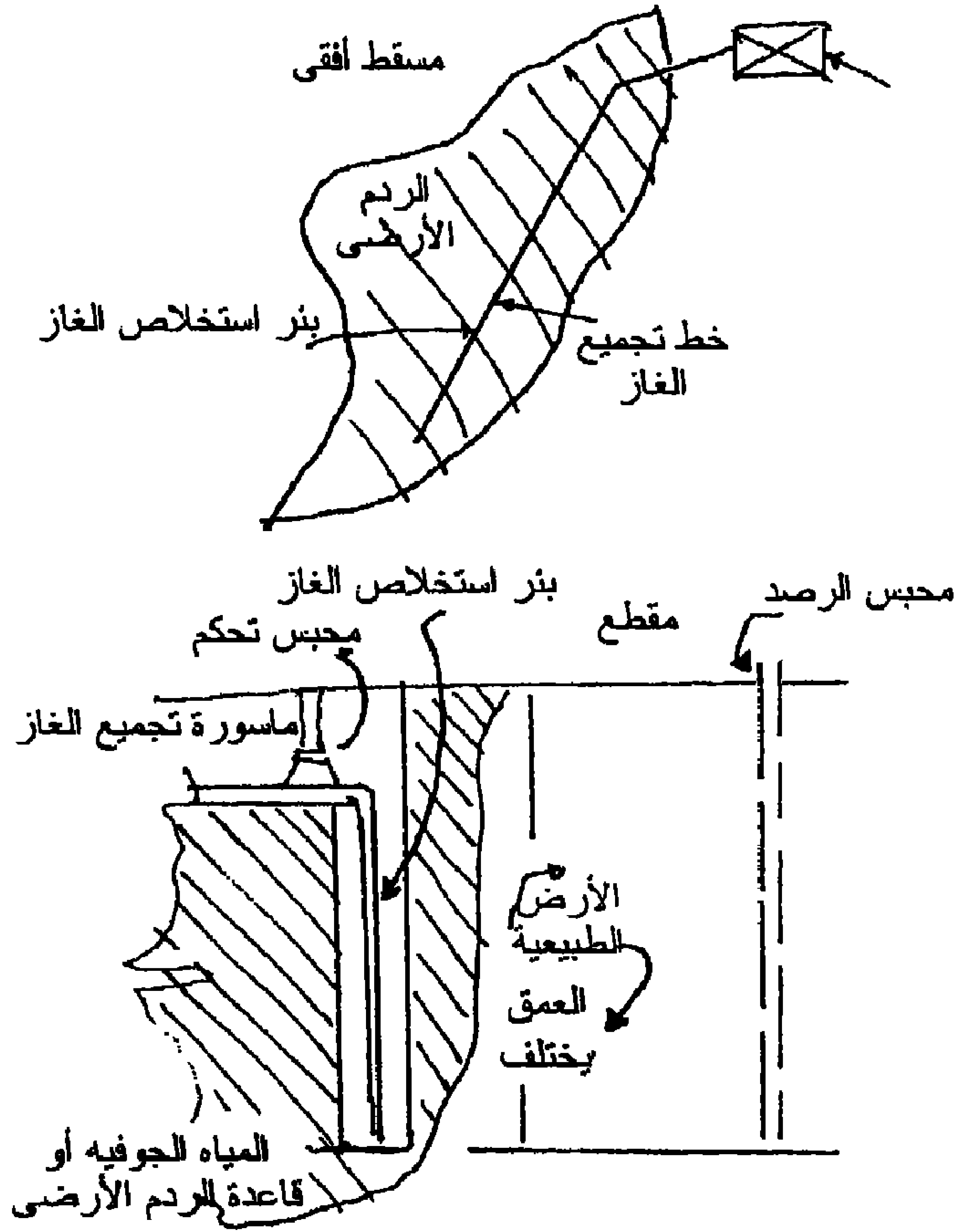
والتربة يجب أن يؤخذ فى الاعتبار أثناء مرحلة تصميم منطقة الدفن الصحى للمخلفات المنزلية الصلبة.

يمكن التحكم فى حركة الغاز بتوفير حواجز غير منفذه فى المدفن الصحى. طبقة كثيفة بسمك واحد متر من الطفلة الرطبة، مثلاً، سوف تعمل كحاجز ممتاز لسريان الغاز عند القاع ومحيط المدفن. يمكن إنشاء نظام تصريف الغاز لجمع المحتجز وتصريفة نحو السطح، حيث يمكن تخفيضه بأمان ونشره فى الجو كما هو موضح فى الشكل (٤/١٣).



شكل (٤/١٣) يمكن تصرف غاز الميثان خلال طبقة الغطاء للردم الأرضى لتخفيفه إلى أسفل المستويات الخطرة.

بدلاً من صرف الغاز فى الجو يمكن جمع غاز الميثان واستخدامه كوقود. ويتضمن نظام استعادة غاز الميثان كوقود، استخدام مبدأ نفاذية الغشاء (Medmbrane Permeation) لفصل البقايا القليلة من ثانى أكسيد الكربون، النتروجين، كبريتيد الهيدروجين من الغاز، مع ترك الميثان النقى كمنتج للبيع كوقود. مثال لنظام استخلاص الغاز من مدافن المخلفات المنزلية الصلبة موضح فى الشكل (٤/١٤).



شكل (٤/١٤) استخلاص غاز الردم الأرضى

صيانة ورصد المدفن الصحى للمخلفات :

بالإضافة إلى وضع المواصفات لتصميم وإنشاء وتشغيل المدفن الصحى فإنه يجب أن تتضمن المواصفات طريقة استكماله وغلقه. وكذلك خطة التغطية النهائية للصيانة بعد ٣٠ سنه، وكذلك نظام جمع سائل غسيل التربة والمخلفات (Leachate) وطريقة تشغيله وصيانته، ورصد المياه الجوفية ورصد والتحكم فى غاز الميثان، وكذلك توضيح الاستخدام المستقبلى الأرضى الموقع. وكذلك إنشاء آبار الرصد لمراقبة ورصد نوعية المياه الجوفية وأخذ عينات دورية وتحليلها بالنسبة للملوثات الغير عضوية والعضوية المتطايرة.

العلامات الأرضية لمدافن المخلفات : Land fill land marks

يجب وضع سور يحيط بمنطقة المدفن الصحى وعليه علامات تحذير لعدم اقتراب الماشية أو المواطنين لسلامتهم. وللمحافظة على وضع المدفن الصحى.

الفصل الخامس

إدارة المخلفات الخطرة (Hazardous Wastes)

١- مقدمـــة :

مع زيادة الأنشطة الصناعية توجد كميات كبيرة مـــن المخلفـــات الخطـــرة نتيجـــة الصناعات الكيماوية والبترولية، وصناعات الورق، أفران صـــهر المعـــادن وصـــناعات أخرى. حتى أن الأنشطة التجارية مثل عمليات التنظيف الجاف، والـــورش الميكانيكيـــة، وإصلاح وصيانة السيارات تنتج مخلفات خطرة. هذه النفايات الخطرة كما يتم تـــسميتها يمكن أن تسبب أمراضاً خطيرة، إصابات، وحتى موت للأفراد ومن هم معرضون لهـــا، بالإضافة إلى أنها يمكن أن تسبب تهديداً مباشراً وخطراً للبيئة عند عدم التداول بالطريقة الصحيحة ما بين التعبئة والنقل والتخلص. بسبب هذه المخاطر فإن عملية إدارة المخلفات لا تسمح بخلط المخلفات المنزلية مع المخلفات الخطرة.

تختلف المخلفات الخطرة عن المخلفات الأخرى فى التكوين والتأثير. فهذه عادة تكون فى شكل سوائل كما يمكن أن تكون فى الشكل الصلب، أو فى شكل حمأة أو غازات. عادة يتم احتجاز هذه المخلفات فى أوعية أو أسطوانات معدنية. يوجد مئـــات مـــن الحـــوادث المسجلة حيث التداول أو التخلص الغير قانونى والغير مناسب لهذه المخلفات كانت السبب فى إحداث الأضرار للأفراد وللبيئة. حالات كثيرة تـــضمنت تلـــوث الميـــاه الـــسطحية والجوفية، بما فيها إمداد المياه للشرب. فى حالات أخرى تضمنت انبعاث مـــواد ضـــارة للغلاف الجوى.

عملية التعبئة والجمع والنقل والمعالجة والتخلص للنفايات الخطـــرة تتطلـــب عنايـــة خاصة. ومنذ سنوات مضت فإن معظم الناس لم تتفهم جيداً أو تستوعب كيـــف أن هـــذه الأنواع من المخلفات يمكن أن تحدث خطورة على الصحة العامة وعلى البيئة الطبيعيـــة. وكثير من المخلفات الخطرة كانت تترك ببساطة فى الهـــواء الطلـــق علـــى الأرض، أو توضع فى حفر أو فى برك أو يلقى بها فى الأنهار. نتيجة لهذا العمل وجـــد آلاف مـــن مواقع المخلفات الخطرة التى يصعب السيطرة عليها بما فيها المـــستودعات، المـــصانع، الردم الأرضى (Land fills). أحد أهم المشاكل البيئية التى تواجه هذه المجتمعات حالياً هو التحدى بالنسبة لمعرفة الأماكن والمحتويات والعلاج لهذه المواقع القديمة لحماية الـــصحة

العامة ونوعية البيئة بالإضافة إلى الحاجة إلى علاج تلك المخلفات الخطرة التى لم يتم السيطرة عليها بالطريقة الصحيحة، فإن متطلبات التصميم الحديث بالنسبة للمعالجة المناسبة، التعبئة والتخلص للجيد من هذه المخلفات الخطرة أصبح شديد التعقيد ومكلفا جدا فمثلاً حالياً يستخدم بطانة من المواد المخلقة (البلاستيك) كأحد صور الإنشاء الكثيرة المستخدمة فى حفر الردم الحديثة للمخلفات، حيث يتم تغطية هذه البطانة بطبقة من التربة لحمايتها من التلف.

فى عام ١٩٧٠ ظهر الاهتمام بخطورة مشكلة المخلفات الخطرة وفى عام ١٩٧٦ فى الولايات المتحدة تم إقرار أول قانون للتعامل معها على المستوى القومى بواسطة الكونجرس. وهو قانون (Resource, conservation , recovery act or RCRA)– لإدارة المخلفات الخطرة. وتم إقرار هذا القانون بواسطة الوكالة الدولية للمحافظة على البيئة (EPA). وفى عام ١٩٨٠ صدر قانون فيدرالى آخر لتوفير حوافز لنظافة كثير من المخلفات الخطرة المنتشرة والغير مسيطرة عليها فى تلك المواقع قبل إصدار قانون (RCRA).

ثم قامت (EPA) بتنفيذ إدارة النفايات الخطرة تحت قانون (RCRA) من نقطة الإنتاج إلى التخلص النهائى والذى يدعى نظام المهد إلى اللحد (Cradle to Grave). كذلك تم تأسيس متطلبات التصميم للردم الأرضى للمخلفات الخطرة. فى عام ١٩٨٤ حيث تم تقوية القانون (RCRA) بتعديلات المخلفات الصلبة الخطرة، حيث أصبح واضحا أنه حتى التخلص المنظم جيداً فى الأرض يمكن أن يسبب أضراراً بالبيئة وأن مشاكل المخلفات الخطرة يمكن حلها بالتخلص فى التربة فقط. ثم التأكيد والاهتمام على المعالجة المؤثرة قبل التخلص النهائى فى الأرض حيث يمكن تثبيت وتعادل المخلفات بتغيير خواصها الكيماوية والطبيعية.

والآن، أصبح معلوماً جيداً أنه حتى التحكم الجيد نحو التخلص فى الأرض مع تقنيات المعالجة لا يمكنه توفير الحل الكامل لمشكلة هذه المخلفات الخطرة. حيث يكون إلزاماً خفض كميات النفايات الخطرة من بدء إنتاجها، وحيثما كان ذلك اقتصادياً يتم إبعادها تماما. خفض الملوثات (باستخدام التقليل لها من المنبع مع التدوير) أصبح الآن استراتيجية إدارة المخلفات الخطرة (وكذلك المنزلية) فى كثير من دول العالم. وقد ساهمت (EPA) فى خفض المخلفات بتوفير الإرشادات الفنية ومساعدة منتجيها، كما تساهم بعض الدول فى هذا المجال.

توجد بدائل متعددة لإدارة المخلفات الخطرة والتخلص منها. يمكن تلخيصها كالآتي :

١- إبعاد أو خفض كميات المخلفات من المنبع وذلك بتعديل وتطوير عملية التصنيع والتقنيات الأخرى.

٢- استعادة وتدوير المخلفات، واستخدامها كمورد لعمليات صناعية أخرى.

٣- تثبيت المخلفات، حيث تصبح غير خطرة باستخدام العمليات الكيماوية والبيولوجية والطبيعية المناسبة.

٤- حرق المخلفات عند درجة حرارة عالية بما يكفى لإتلافها أو لعدم سميتها.

٥- توفير التخلص الحديث بالردم الأرضى وذلك بعد عمل بعض أشكال المعالجة المناسبة وإزالة الملوثات.

يجب ملاحظة أن هناك فرق بين المخلفات الخطرة والمواد الخطرة. فالمخلفات الخطرة هى نتيجة بعض العمليات أو الأنشطة، بينما المواد الخطرة هى الجديدة أو التى لم تستخدم . ولكن فى هذه الدراسة سيتم التركيز على إدارة المخلفات الخطرة وليس المواد الخطرة.

٢- الخواص والكميات :

الإدارة المؤثرة للمخلفات الخطرة تتطلب وسائل واضحة وغير مبهمة للكشف والتعرف على نوع المخلفات المطلوب إدارتها وتنظيمها. تعريف المخلفات الخطرة يجب أن يكون قابلاً للاستخدام وسهل إلى حد معقول. كذلك فإن استخدام المصطلحات الفنية يجب أن تكون محددة ودقيقة. فمثلاً كثير من الناس يستخدم تعبيرات مثل السمية أو الخطورة. ولكن هذا ليس بالدقة المطلوبة، بالإضافة إلى هذا فإنه يلزم لإعداد خطة الإدارة لهذه المخلفات توفير البيانات عن مصادر وكميات هذه المخلفات.

تعريف النفايات (المخلفات) الخطرة :

التعريفات المعلنة والتصنيف للمخلفات الخطرة تختلف. ففى الولايات المتحدة تعرف بقانون إدارة المخلفات الخطرة (RCRA) لتكون خطيرة فى حالة أن تكون سبباً فى أو أن تساهم بشكل كبير فى زيادة الوفيات أو فى الزيادة الحادة للأمراض المستعصية أو فى إضعاف أمراض العكوس (Reversible Illness)، أو فى إحداث خطورة على صحة الإنسان أو البيئة فى حالة عدم معالجتها أو تخزينها أو نقلها أو التخلص منها أو أى شكل من أشكال الادارة بطريقة غير ملائمة . هذا يعطى نظرة كبيرة على المخلفات الخطرة،

ولكن ليس تعريفا محدداً يمكن العمل به، حيث يلزم بيانات أكثر وضوحاً لتسهيل ودقة التعرف على مخلفات معينة ما إذا كانت خطرة أم لا.

البيانات الضرورية لتعريف المخلفات الخطرة تم وضعها بواسطة وكالة حماية البيئة (EPA - Environmental Protection Agency) أولاً، يمكن تعريف المادة أنها خطرة فى حالة تعيينها فى القوانين الفدرالية. وهذا تعريف مباشر وطريقة واضحة لتعريف المنتجين للمخلفات عمّا يجب عمله فى إدارة المخلفات كمواد خطرة، فى حالة وجودها فى الكشف فإنها تعتبر مادة خطرة. البيانات المتوفرة لدى (EPA) تشمل مخلفات من مصادر غير محددة، مخلفات من مصادر محددة، ومنتجات كيماوية تجارية معينة.

المخلفات من مصادر غير محددة عادة تنتج بالعمليات الصناعية وتشمل مواد مثل مذيبات إزالة الشحوم، مخلفات الدايوكسين (Dioxin) ومواد أخرى شديدة الخطورة التى تنتج من مصانع متعددة. المخلفات من مصادر محددة تشمل تلك التى من صناعات معروفة مثل صناعة تكرير البترول أو حفظ الأخشاب وكذلك تشمل مياه الصرف، الحمأة، ومخلفات أخرى. المنتجات الكيماوية التجارية تشمل الأحماض الغير مستخدمة (Discarded)، الكلوروفورم، الكريوزوت (Creosote)، المبيدات الحشرية مثل مادة DDT. كذلك فإن مخلفات تحتوى على نوع من المخلفات مدرج كمخلفات خطرة بصرف النظر عن نسبتها (وهذا يمنع المنتجين من القيام بعملية التخفيف السهلة لمخلفاتهم المدرجة كخطرة مع المخلفات الغير خطرة للتهرب من لوائح (RCRA)).

فى حالة عدم وجود المادة فى بيانات (EPA) عن المخلفات الخطرة، فهذا لا يعنى أنها غير خطرة، حيث تظل تعرف كخطرة إذا توفرت لها الصفات المقاسة للمخلفات الخطرة. الخواص الأربع الرئيسية بالنسبة للخواص الكيماوية والطبيعية لوكالة حماية البيئة (EPA) هى السمية، التفاعلية (Reactivity)، القابلية للإحتراق (Ignitability)، العدوانية محدثة تآكلاً للمادة (Corrosivity). نوعين إضافيين من المواد الخطرة تشمل المخلفات التى إما أن تكون معدية أو مشعة (لاحظ أن السمية هى واحد فقط من بين الخواص المتعددة للمخلفات الخطرة، ولذلك فإن تعبير السمية لا يتم استخدامه كمرادف لتعبير الخطورة).

السمية : (Toxicity)

المخلفات السامة، هى سموم ولو كانت فى كميات صغيرة جداً، بعضها يمكن أن يكون له تأثير حاد أو فورى على الإنسان والحيوان، مسبباً الوفاة أو المرض الشديد. البعض الآخر يمكن أن يكون له تأثير مسبباً ضرراً يصعب علاجه للأشخاص

المعرضين. مخلفات سامة معينة تعرف بأنها مسببة للسرطان (أحيانا سنين كثيرة بعد التعرض الأولى). البعض الآخر يحدث تحول بيولوجي في الأطفال (Mutagenic) أو نسل الإنسان والحيوان المعرض.

معظم المخلفات السامة تكون منتجة من الأنشطة الصناعية بما فيها صناعة الكيماويات، المبيدات،البويات، منتجات البترول، المعادن، المنسوجات، ومنتجات أخرى كثيرة. سمية أى مخلفات معينة تتحدد طبقاً لاختبارات وكالة حماية البيئة الموصفة والتى تسمى طريقة الغسيل لخواص السمية (Toxicity Characteristics Leaching (TCLP) Procedure). تستخدم هذه الطريقة لتعيين قابلية التحرك والانتقال (Mobility) للمركبات العضوية والغير عضوية الموجودة فى المخلفات. هذه الطريقة تحاول محاكاة حالات المخلفات التى يمكن أن يتعرض لها فى الردم الأرضى (Land fill)، وذلك بتوضيح القدرة الحركية لهذه المركبات. عموماً، يتم تحليل حجم من عينة ممثله للواقع للمخفات لمعرفة ما إذا كانت تحتوى على أكثر من التركيز المسموح به أو على واحد أو أكثر من مواد سامة معينة مدرجة بواسطة (EPA). المدرج هو ٣٩ مادة كيماوية عضوية وغير عضوية. بيان مختصر يوضح بعض من الكيماويات السامة كما فى الجدول الآتى وهو بيان مختصر للتوضيح فقط.

أقصى تركيز للملوثات بطريقة الغسيل لخواص السمية (TCLP) :

الملوثات	أقصى مستوى للتركيز (ملجرام/لتر)
الزرنيخ	٥,٠
البنزين (C_6H_6)	٠,٥
رابع كلوريد الكربون	٠,٥
الكلوردين (Chlordane)	٠,٠٣
الكلوروفورم	٦,٠
الكروميوم	٥,٠
الاندرين Endrin	٠,٠٢
الرصاص	٥,٠
الزئبق	٠,٠٢
بنتا كلورو فينول	١٠٠,٠
الفضة	٥,٠
التراى كلوروايثلين	٠,٥
الفينيل كلورايد	٠,٢

خواص أخرى للمخلفات الخطرة :

المخلفات ذات القدرة التفاعلية تكون غير مستقرة وتميل إلى التفاعل بعنف مع الهواء، الماء أو مواد أخرى. التفاعلات تسبب انفجارات أو تكون أبخره شديدة الأذى وأدخنة. المخلفات القابلة للاشتعال هى التى تحترق عند درجة حرارة منخفضة نسبياً (أقل من ٦٠°م) وقادرة على الاحتراق الفورى (أى أنها تمثل خطورة الحريق الفورى) أثناء التخزين، النقل أو التخلص. كثيراً من مخلفات الزيوت والمذيبات تكون قابلة للاشتعال. المخلفات الأكالة العدوانية تشمل القلويات الشديدة أو الأحماض، حيث تدمر المواد والأنسجة الحية بالتفاعل الكيماوى. يستخدم الرقم الهيدروجينى (pH) كمؤشر لهذه الخاصية، حيث السوائل ذات الرقم الهيدروجينى أقل من (٢) وأكبر من (١٢,٥) تعتبر عدوانية. مثل هذه المخلفات يمكن أن تسبب الصدأ أو التآكل للصلب الغير محمى بمعدل أكبر من ٦ مليمتر فى العام عند درجة حرارة حوالى ٥٥°م.

المخلفات المعدية أو المخلفات الطبية تشمل الأنسجة الآدمية نتيجة العمليات الجراحية، الأربطة والإبر المستخدمة تحت الجلد، المواد الميكروبيولوجية ومواد أخرى المنتجة من المنشآت الصحية ومراكز الأبحاث البيولوجية الأخرى. هذا النوع من المواد يجب تداوله والتخلص منه بطريقة صحيحة، وذلك بالاستعانة بإرشادات (EPA) لتجنب العدوى وانتشار الأمراض.

المخلفات المشعة، وخاصة المخلفات المشعة ذات المستوى العالى من محطات الطاقة النووية، هذه تعتبر كذلك من المخلفات الخطرة. الإفراط فى التعرض للأشعة المتأنية يمكن أن يسبب أضراراً للكائنات الحية. المواد المشعة يمكن أن تستمر فى البيئة لآلاف السنين قبل أن تتآكل. بسبب التعقيدات الفنية لهذه المشكلة، فإن التخلص من المواد المشعة يعتبر دائماً منفصلاً عن باقى أنواع المخلفات الخطرة.

رغم هذا فإن تلك المخلفات التى تبدى خواص المخلفات الخطرة، يمكن استثناءها من اللوائح. تلك المخلفات تشمل طفلة الحفر، أو المخلفات التى يعاد تدويرها مثل بطاريات الرصاص الحامضية.

ولقد أقرت EPA أنه حتى عام ١٩٨٠ تم التخلص من ١٠% من المخلفات الخطرة بطريقة بيئية صحيحة. وكثير منها تم التخلص منه فى التربة بدون تبطين، أو فى أكوام من المخلفات أو فى حفر حيث تسبب تهديداً للصحة العامة ولنوعية البيئة.

مصادر المخلفات وكمياتها :

طبقاً لقانون (RCRA) فإن المنتج أو المولد للمخلفات الخطرة يكون مسئولاً عن التعرف والكشف عنها، والمنتج هو أى شخص أو شركة المنتج لمادة مدرجة بواسطة (EPA) كخطرة أو أن لها من الخواص المعروفة للمخلفات الخطرة. إنه يكون من واجب المنتج تحليل كل المخلفات الصلبة لتعيين ما إذا كانت تقابل تعاريف (RCRA) أو أنها ضمن محتويات الكشف. بمجرد التعرف على المخلفات أنها خطرة فإنها تصبح خاضعة لقانون (RCRA)، والمنتج يتحمل المسئولية القانونية نحو الإدارة المناسبة والتخلص لهذه المخلفات.

تم تعريف ثلاثة من المنتجين بواسطة (RCRA)، متضمناً الكمية الكبيرة، الكمية الصغيرة، والمنتجين للكميات صغيرة مهملة. منتجو الكميات الكبيرة ينتجون ما يزيد عن ١٠٠٠ كجرام (٢٢٠٠ رطل) من المخلفات الخطرة فى الشهر أو ما يزيد عن واحد كيلو جرام (٢,٢ رطل) من المواد شديدة الخطورة فى الشهر. المخلفات ذات الخطورة الشديدة هى تلك التى تعتبر خطيرة حتى أن الكميات الصغيرة يتم إدراجها بنفس الطريقة مثل الكميات الكبيرة للمخلفات الخطرة الأخرى، وهذه يتم تعريفها وتحديدها كمخلفات شديدة الخطورة فى محتويات كشوف وكالة حماية البيئة (EPA).

أما بالنسبة لمنتجى الكميات الصغيرة حيث يتراوح الإنتاج ما بين ١٠٠ ، ١٠٠٠ كيلو جرام فى الشهر أو أقل من ١ كجرام من المخلفات شديدة الخطورة فى الشهر. من بين المنتجات الصغيرة الخطيرة هى أماكن التنظيف الجاف وكذلك محطات خدمة السيارات. منتجو الكميات الصغيرة المهملة حيث يقل الإنتاج عن ١٠٠ كجرام من المخلفات الخطرة فى الشهر.

منتجو كميات المخلفات الكبيرة والصغيرة يجب أن يخضعوا لقانون (RCRA) بما فيه الحصول على رقم للتعريف بالمادة طبقاً لـ (EPA)، التداول الصحيح للمخلفات قبل نقلها، مع عمل التقارير والتسجيلات. فى حالة المخلفات الصغيرة المهملة فإنها لا تتطلب رقم العينة من (EPA). التداول الصحيح قبل النقل يتطلب التعبئة لمنع التسرب وكذلك الملصقات على المخلفات المعبأة لمعرفة خواصها ومخاطرها. منتجو الكميات الكبيرة يمكنهم تجميع المخلفات فى الموقع لمدة لا تزيد عن ٩٠ يوم فى حالة تخزينها جيداً ووضع الملصقات عليها مع وضع خطة طوارئ مكتوبة.

بالنسبة لمنتجى الكميات الصغيرة يمكنهم تجميع المخلفات لمدة حتى ١٨٠ يوما. المخلفات الخطرة تنتج بواسطة عمليات صناعية وغير صناعية كثيرة ومتعددة حيث يصعب حصرها هنا. حوالى نصف هذه المنتجات يكون من الصناعات الكيماوية والباقى يكون من صناعات البترول والإليكترونات والصناعات المعدنية وصناعات أخرى كثيرة. مثال لأنواع المخلفات الخطرة المنتجة من الصناعات الكيماوية تشمل المذيبات المستهلكة، ومواد قاع التقطير (أسيتون، بنزين، تولوين، تراى كلوروايثلين، . الخ)، الأحماض القوية (النيتريك، الكبرتيك، الهيدروكلوريك .. الخ)، والقلويات القوية (مثل ايدروكسيد الأمونيوم، والبوتاسيوم .. الخ)، والمخلفات المتفاعلة (برمنجنات الصوديوم، سلفيد البوتاسيوم .. الخ). منتجات الصناعات المعدنية تنتج مخلفات الطلاء المعدنى المستهلك، حمأة المعادن الثقيلة، مخلفات السيانيد، حامض الكروميك، وأخرى كثيرة ..الخ. توجد أنواع كثيرة يصعب حصرها ولكن القاعدة الآن هى التركيز على خفض المخلفات والعمل على التدوير وإعادة الاستخدام.

المخلفات المنزلية الخطرة :

تمثل المخلفات المنزلية الخطرة حوالى ١% من إجمالى المواد الصلبة من المخلفات، ولكن عند عدم التخلص منها بطريقة صحيحة فإنها يمكن أن تحدث مشاكل حادة للإنسان وللبيئة. يجب عدم الخلط بين المخلفات المنزلية الخطرة مع القمامة المنزلية.

يمكن تراكم حوالى ٤٥ كيلوجراماً (١٠٠ رطل) من المواد الخطرة فى البدرومات المنزلية (Basement) الجراجات، غرف التخزين لمتوسط المنزل فى أمريكا. هذه المواد تشمل البويات المتبقية، الورنيشات، الصبغات، البطاريات، زيوت المحرك، والمبيدات الحشرية. وهذه أحياناً يتم التخلص منها بطريقة غير صحيحة فى شبكة الصرف الصحى، على الأرض، أو بخلطها مع المخلفات المنزلية العادية. كثيرا من هذه المخلفات يمكن أن يسبب الضرر للعاملين فى مجال التصحاح، وكذلك تسبب تلوثاً لنظام معالجة مياه الصرف، بالإضافة إلى تلوث الهواء والمياه السطحية والمياه الجوفية، يمكن خفض هذه المخاطر بتقليل استخدام المنتجات الخطرة، ونقل المخلفات الخطرة المنزلية إلى منطقة جمع المخلفات الخطرة المحلية فى حالة وجودها. ولقد قامت بعض الجهات بتدوير وإعادة الاستخدام لمثل هذه المخلفات مثل زيت المحرك، البويات، المذيبات.

٣- نقل المخلفات الخطرة :

أحد أهم القوانين المنظمة لتداول المخلفات الخطرة فى الولايات المتحدة هو (RCRA) حيث فى البند (C) من هذا القانون، فإنه أعطيت لوكالة حماية البيئة (EPA) المسئولية فى

وضع ومراقبة تنفيذ نظام إدارة المخلفات الخطرة على المستوى القومى. بالإضافة إلى تشخيص المخلفات الخطرة الخاضعة للقانون، قامت (EPA) بوضع المواصفات والضوابط المتعلقة بنقل ومعالجة وتخزين والتخلص من المواد الخطرة. وفى مجال نقل المواد الخطرة، فإن المخلفات المنتجة من مصدر معين تتطلب الانتقال إلى مكان مرخص له بالمعالجة الصحيحة، التخزين أو التخلص. نظراً لأن هذه الأنشطة الثلاثة ذات علاقة قريبة من بعضها، حيث أشير إلى أماكنها بطرق بالمعالجة والنقل والتخلص (TSDF's - Treatment , Storage , Disposal Facilities). تحرك أو نقل المخلفات من مصدرها إلى (TSDF's) يتطلب الحرص والحذر بسبب ما قد تسببه من أضرار لنوعية البيئة وسلامة الصحة العامة. ليس فقط لاحتمال الانسكاب الغير متعمد، حيث كان القائمين على نقل المخلفات الغير مدققين وغير حذرين بالتخلص من المخلفات فى أماكن عشوائية أو بفتح المحبس والتخلص منها مع السير فى الطريق. هذا العمل الغير قانونى (والذى يسمى التخلص فى منتصف الليل) تم مقاومته بقانون وقرارات (RCRA).

المخلفات الخطرة عند تحركها من مصدرها يتم نقلها فى مركبات على الطريق الرئيسية بطول لا يقل عن ١٦٠ كيلو متر. الكميات الصغيرة فقط من المخلفات الخطرة تنقل بالسكك الحديدية ولا يتم النقل بالطائرات أو بالنقل النهرى. يمكن نقل المخلفات فى عربات بها خزانات من سبائك الصلب أو الألومنيوم ذات طاقة ما بين ٧٦٠٠ إلى ٣٤٠٠ لتر. ويمكن كذلك نقلها فى براميل سعت ٢٠٠ لتر.

أ – نظام البيانات : (Manifest system)

أحد المظاهر الهامة لقانون (RCRA) بالنسبة لنقل المخلفات الخطرة هو نظام بيانات من المهد إلى اللحد (Cradle to Grave) للسيطرة على المخلفات من مصدرها إلى التخلص النهائى. البيانات هى وثيقة مسجلة التى يجب إعدادها بواسطة المنتج للمخلفات الخطرة، مثل مصنع كيماويات أو أى صناعة أخرى. المنتج تقع عليه المسئولية الأولى نحو إدارة المخلفات وإعطاء البيانات إلى المرخص له بنقل المخلفات، مع المخلفات نفسها. القائم بالنقل يجب أن يلتزم بالقوانين نحو مواصفات سيارة النقل، وما يتم اتخاذه من إجراءات فى حالة الانسكاب الغير متعمد.

يجب تسليم البيانات بواسطة القائم بنقلها إلى من يستقبلها فى موقع التخزين أو المعالجة أو التخلص المرخص به. فى كل وقت يتم فيه تغيير المستلم يجب التوقيع على البيانات. يتم حفظ صورة من البيانات عند كل موقع مشترك فى التداول، مع إرسال

صورة من هذه إلى إدارة المحافظة على البيئة المختصة. تشمل البيانات كذلك معلومات عن الصدر، النوع، الكميات للمخلفات الخطرة.

٤- المعالجة ، التخزين والتخلص :

(TSD - Treatment, Storage and Disposal)

تشمل المعالجة التخزين التخلص طرق مختلفة كثيرة وتكنولوجيات متعددة ونتيجة لذلك، فإن قوانين TSD أكثر من تلك المتعلقة بإنتاج ونقل المخلفات. الأفراد العاملين في مجال المعالجة والتخزين والتخلص يجب أن يكونوا مدربين وذوى مهارات عالية لتأكيد القدرة على معرفة وتداول المخلفات. كما يجب أن يتوفر لدى هذه الجهة إمكانيات التخطيط وخطط الطوارئ والمعدات والوسائل اللازمة للتفتيش ..الخ.

طرق المعالجة للمخلفات الخطرة :

بعض أنواع المخلفات الخطرة يمكن إزالة سميتها (Detoxified) أو جعلها أقل خطورة بطرق المعالجة الكيماوية، البيولوجية، الطبيعية. معالجة المخلفات الخطرة يمكن أن يكون مكلفاً، ولكن يمكن أن يساعد فى إعداد المادة للتدوير أو للتخلص بطريق أكثر أمنا عن التخلص بدون معالجة. كما يمكن أن يقلل من الحجم اللازم للتخلص النهائى منه. طرق كثيرة للمعالجة المؤثرة متاحة. صناعة المعالجة للمخلفات الخطرة هى فى مجال التطوير المستمر والتحديث بهدف الحصول على تقنيات معالجة منخفضة التكاليف. بعض طرق المعالجة الشائعة سيتم تناولها.

أ - عمليات المعالجة الكيماوية :

الطرق الكيماوية المستخدمة عادة فى معالجة المخلفات الخطرة تشمل، الحرق، التبادل الأيونى، التعادل (Neutralization)، الترسيب، وعمليات الأكسدة - الاختزال.

ب - الحرق (Incineration)

الحرق هو عملية كيماوية - حرارية والتى لا تزيل سمية مخلفات عضوية معينة فقط، بل يمكن تدميرها تماماً. الحرق طريقة مفضلة لدى البعض فى إدارة المخلفات الصناعية عن الطرق الأخرى لمعالجة المخلفات الخطرة، وخاصة بسبب الضغوط الاقتصادية والأهلية نحو خفض أو عدم التخلص فى التربة. احتراق المخلفات العضوية عند درجات حرارة مرتفعة جداً يحولها إلى رماد وبقايا وغازات منبعثة. الحرق يزيل

سمية المخلفات الخطرة حيث يغير من بنائها الجزئي ويحوله بالتكسير إلى مواد كيماوية بسيطة. رغم أن الرماد نفسه قد يلزم معالجته كمخلفات خطرة (إذا أظهرت التحاليل ذلك)، إلا أن صغر حجم المخلفات المتبقى هو الذى يتم عمل طرق التخلص النهائى منه.

انبعاثات الدخان العادم من وحدة الحرق المصممة جيداً والتى تعمل بإتقان لحرق المواد العضوية مثل الهيدروكربونات المكلورة كمثال تشمل H_2O , CO_2 , HCl , N_2 (حامض الهيدروكلوريك). يعتبر حامض الهيدروكلوريك هو فقط الخطير ولكنه يتفاعل بسرعة مع لبن الجير $Ca(OH)_2$ لإنتاج أملاح غير خطرة، والتى يمكن التخلص منها بالردم فى التربة.

ليس كل المخلفات الخطرة يمكن حرقها. فمثلاً المعادن الثقيلة لا يمكن تدميرها ولكنها تدخل إلى الجو فى شكل بخار. ولكن الحرق استخدم بنجاح للتخلص من المخلفات الخطرة مثل المبيدات من الهيدروكربونات المكلورة وكثيراً من المواد العضوية الأخرى.

توجد أنواع خاصة من معدات العمليات الحرارية مثل الفرن الدوار (Rotary - Kitn)، المحرقة ذات الطبقة السائلة (Fluidized Bed Incinator)، الفرن متعدد المجمرات (Multiple Hearth furnace)، محرقة حقن السائل (Liquid Injection Incinator)، وهذه المحارق تستخدم فى حرق المخلفات الخطرة سواء الصلبة أو فى شكل حمأة (Sludge) أو السائلة. الشكل (١/٥) عبارة عن مخطط لمحرقة حقن السائل. عند الترخيص بأى محرقة للمخلفات الخطرة. يجب أن تختبر لتعيين كفاءة الحريق. حيث يلزم تدمير مالا يقل عن ٩٩,٩% من المخلفات العضوية أو إزالتها (و ٩٩,٩% من مخلفات الدايكسين Dioxine). إنبعاثات الجسيمات، HCl فى الغازات العادمة يمكن كذلك التخلص منها.

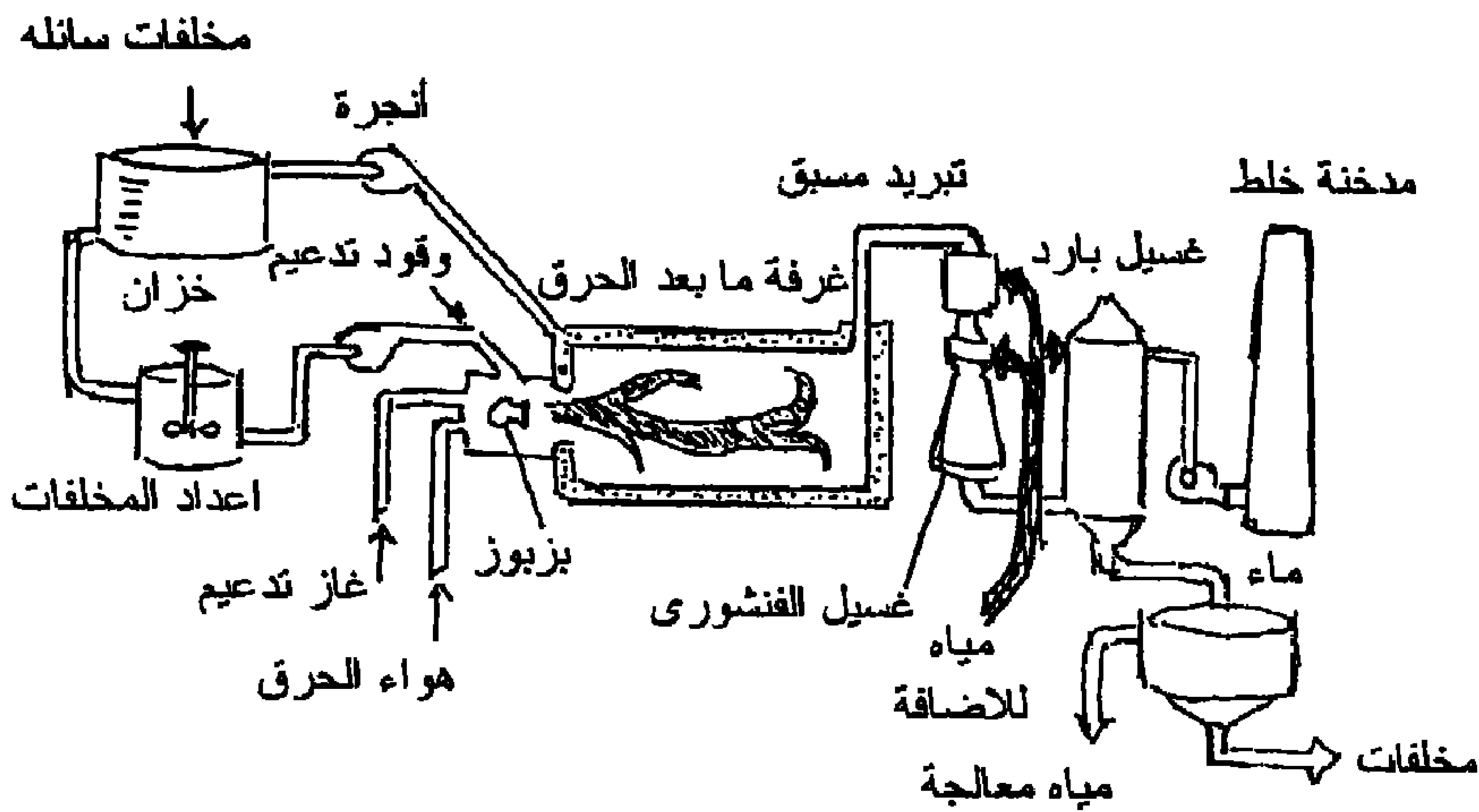
جـ - عمليات كيماوية أخرى :

(١) فى عملية التبادل الأيونى فإن مياه الصرف الصناعى يتم تمريرها خلال طبقة من الراتنجات التى تمتص أيونات المعدن ذات الشحنة الكهربية بطريقة اختيارية (Selectively). مثال لاستخدامها فى عمليات تشطيب المعادن حيث يتم إزالة مخلفات حامض الكروميك من مياه الغسيل.

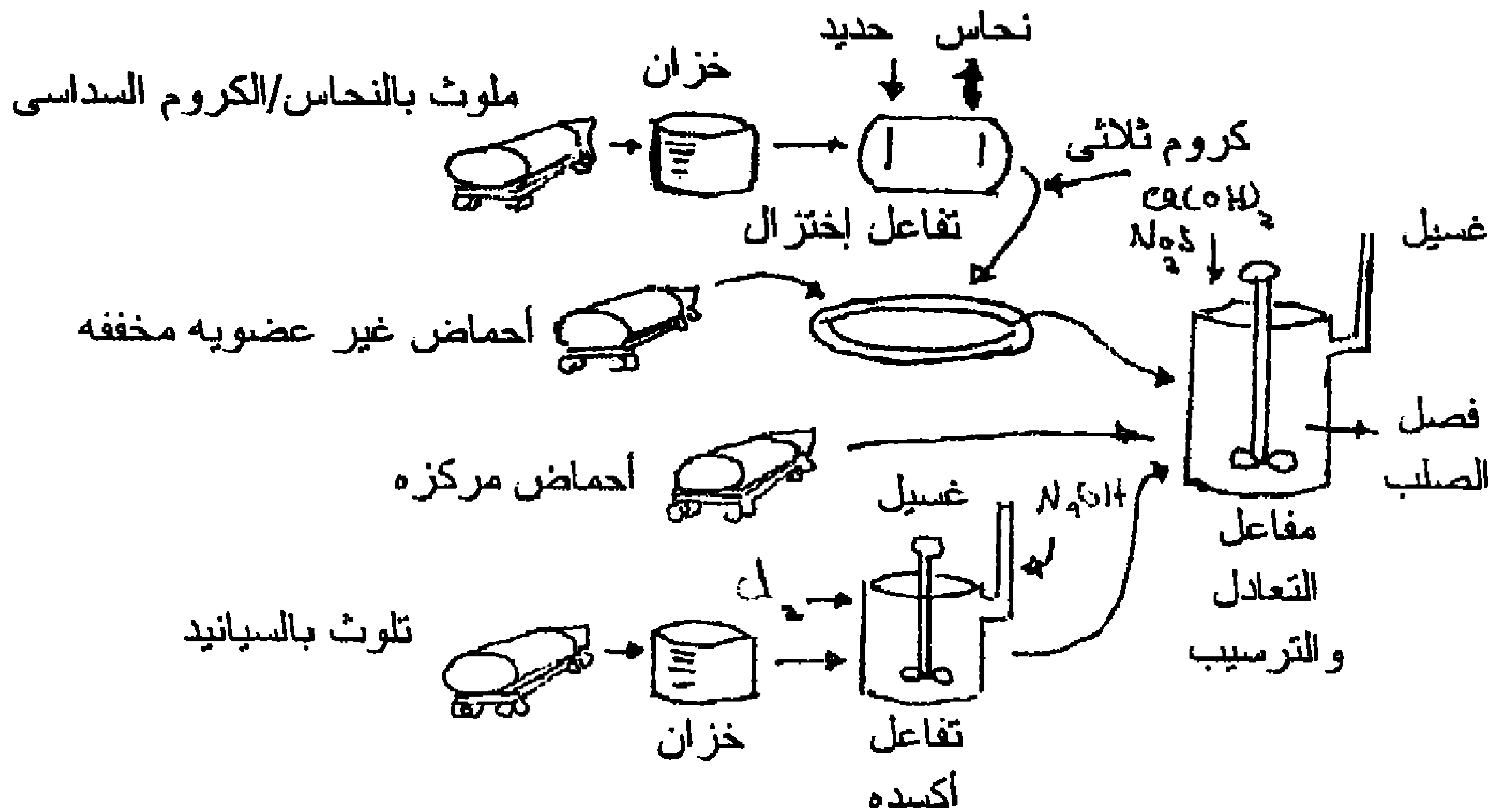
(٢) التعادل : يعنى به ضبط الرقم الهيدروجينى بهدف خفض القدرة التفاعلية للحامض أو للقلوى. فمثلاً يمكن استخدام الحجر الجيرى فى معادلة الأحماض، وثانى أكسيد الكربون المضغوط لمعادلة القلوية القوية.

(٣) الترسيب : يعنى به ترسيب كيماويات معينة من المحلول كمادة صلبة. مثال لتطبيقاتها فى صناعة البطاريات، حيث إضافة لبن الجير وإيدروكسيد الصوديوم إلى مخلفات البطارية الحامضية بسبب ترسيب كلاً من الرصاص والنيكل من المحلول حيث كليهما معادن ثقيلة سامة.

الأكسدة والاختزال هما تفاعلات كيماوية متممة لبعضها تتضمن انتقال الإليكترونات بين الأيونات. أكسدة مخلفات السيانيد بالكلور هو مثال لتحويلها إلى أقل خطورة.



شكل (٥/١) لنظام حقن وحرق السوائل



شكل (٥/٢) مخطط للمعالجة الكيماوية التعادل، الترسيب،

وتفاعل الأكسدة - الاختزال

د- عمليات المعالجة البيولوجية :

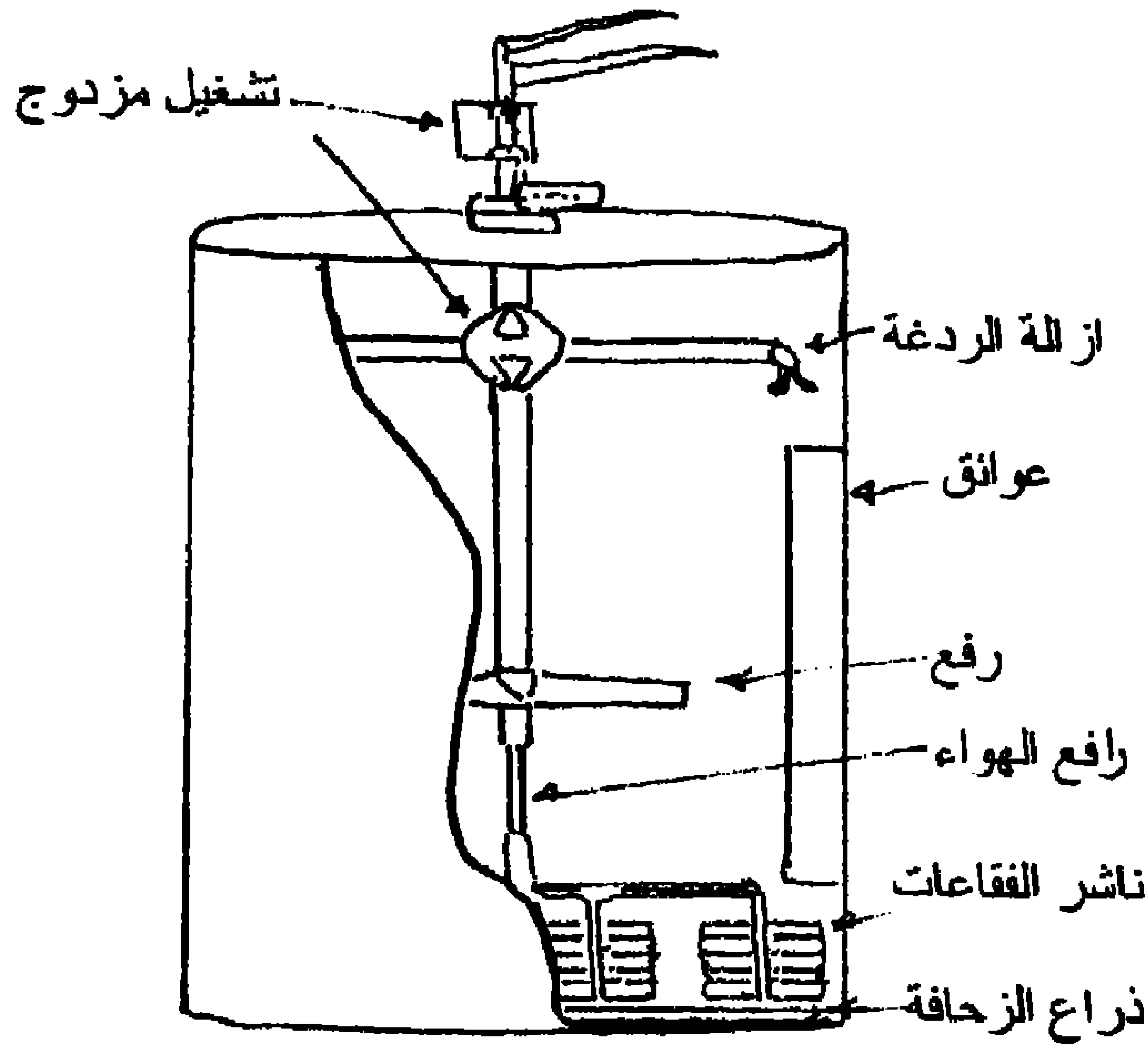
تتضمن المعالجة البيولوجية أداء الكائنات الحية الدقيقة. هذه الكائنات تستخدم مادة المخلفات كغذاء وتحولها بعمليات الأيض الطبيعية (Metabolism) إلى مواد بسيطة جداً. هذه مستخدمة عادة فى تثبيت المخلفات العضوية فى الصرف الصحى، ولكن أنواع معينة من المخلفات الصناعية الخطرة يمكن كذلك معالجتها بهذه الطريقة. المخلفات العضوية من صناعة البترول كمثال، يمكن معالجتها بيولوجياً. ولكن من الضرورى تلقيح المخلفات بالبكتريا التى تتأقلم معها بسرعة ويمكن أن تستخدمها كغذاء. فى بعض الحالات، يمكن استخدام سلاسات بكتيرية مهندسة جينياً (Genetically Engineered Species).

بالإضافة إلى نظم المعالجة البيولوجية التقليدية، بما فيها عمليات الحمأة المنشطة والمرشحات الزلطية، فإنه يمكن استخدام طريقة معالجة تسمى التشكيل بالتربة (Land Forming Or land Treatment) والتى ليست مثل الردم فى التربة (Land Filling). فى هذه الطريقة يتم وضع المخلفات بحرص وخلطها مع التربة السطحية، يمكن كذلك إضافة كائنات حية دقيقة وغذاء (Neutrients) إلى الخليط طبقاً للحاجة. المواد العضوية السامة تتحلل بيولوجيا، بينما المواد الغير عضوية يتم إدمصاصها واحتجازها فى التربة.

معالجة التشكيل بالتربة غير مكلفة نسبياً، كما أنها طريقة للتخلص النهائى لأنواع معينة من المخلفات الخطرة. ولكن يجب عدم زراعة المحاصيل الغذائية أو الأعلاف (Forage) فى نفس المكان نظراً لأنها يمكن أن تحصل على مواد سامة. فى هذا المجال فإن السلبية للمعالجة بالتشكيل بالتربة هى أنه يمكن استقطاع مساحة من الأراضى كبيرة لها استخدامات أخرى كالزراعة مثلاً. طبوغرافية السطح والحالة الجيولوجية أسفل السطح يجب أن تكون مناسبة بحيث لا يحدث تلوثاً للمياه السطحية أو للمياه الجوفية. فمخلفات عضوية خطرة معينة يمكن أن تعالج فى شكل ردغة (Slurry) فى بحيرة ضحلة أو فى وعاء مغلق يسمى المفاعل البيولوجى (Bioreactor). فى المفاعل البيولوجي يمكن أن يوجد ناشرات فقاعات صغيرة للإمداد بالأكسجين وتجهيز للخلط للمحافظة على المواد الصلبة فى الردغة أن تظل عالقة كما هو موضح فى الشكل (٣/٥).

هـ - عمليات المعالجة الطبيعية :

يمكن استخدام المعالجة الطبيعية فى تركيز، تجميد أو خفض حجم مادة المخلفات الخطرة. يمكن تنفيذ التجميد بتغليف المخلفات فى الخرسانة، الإسفلت، أو البلاست.



شكل (٥/٣) مفاعل بيولوجى لمعالجة المخلفات الخطرة

ينتج عن ذلك كتلة صلبة من المادة التى تقاوم الغسيل. يمكن كذلك تحويل المخلفات الخطرة إلى الحالة الصلبة بالخلط مع الجير الحى (Lime)، الرماد، والماء لتكوين منتج صلب مثل الأسمنتى. طريقة أخرى مستخدمة لتجميد وتثبيت التربة الملوثة هى التزجيج. وهذه تتضمن صهر المواد عند درجة حرارة عالية (حوالى ١٦٠٠°م) بما يقلل من إمكانيات غسيل الملوثات. يمكن علاج ردم المخلفات القديمة باستخدام التزجيج فى الموقع، حيث يمكن الحصول على درجة الحرارة العالية المطلوبة بإيلاج الأقطاب فى الأرض حيث ترتفع درجة الحرارة مع سريان التيار خلال التربة.

أبسط طريقة طبيعية التى يمكن أن تعمل على تركيز وخفض حجم مياه الصرف هى التبخير، والذى يمكن جعله سهلا باستخدام الرشاشات الميكانيكية. طرق طبيعية أخرى تستخدم لفصل المخلفات الخطرة من السائل تشمل الترسيب، الطفو والترشيح.

مثالين للعمليات الطبيعية المستخدمة لإزالة مكونات خطرة معينة من المخلفات السائلة تشمل الادمصاص على الكربون النشط، أو التجريد (Stripping) بالهواء/ الغاز. المواد الخطرة يمكن ادمصاصها على طبقة من الكربون الجيبى أو المسحوق. الكربون المستخدم يمكن تنشيطه لإعادة الاستخدام. استخدام التجريد بالهواء/ الغاز فى أبراج ذات التدفق

المعاكس أو فى شكل شلال (Cascade) لإزالة المواد العضوية المتطايرة من مياه الصرف ومن المياه الجوفية الملوثة.

خزانات الحفظ والتجميع : (Storage Tanks and Impoundments)

الحفظ السليم للمخلفات الخطرة يعتبر ضروريا نظراً لما تسببه من أضرار كبيرة للصحة العامة وللبيئة فى حالة الصرف الغير متعمد.

كثير من منتجى المخلفات الخطرة يقومون بحفظها فى الموقع لمدد زمنية مختلفة. الكميات الكبيرة نسبياً قد يتم حفظها فى أحواض أو برك فوق سطح الأرض. أحواض الحفظ فوق سطح الأرض يمكن أن تنشأ من الصلب أو الخرسانة ولكنها تكون معرضة للتآكل والتشقق وليست مناسبة لحفظ المخلفات المتفاعلة أو القابلة للاشتعال.

الكميات الصغيرة نسبياً من المخلفات الخطرة التى تنتج بشكل متقطع يمكن أن توضع فى براميل سعت ٢٠٠ لتر من الصوف الزجاجى (Fiber Glass) أو من البلاستيك أو من الصلب لسهولة التداول، وللتخزين المؤقت والنقل. يتم حفظ المادة العدوانية فى أوعية مبطنة بالصوف الزجاجى أو بالزجاج لتجنب التلف والتسرب. السوائل الكيماوية السامة يمكن حفظها فى براميل معدنية.

الأوعية أو البراميل للمخلفات الخطرة يجب وضع الملصقات التحذيرية عليها قبل النقل إلى المعالجة أو التخلص. الملصقات يجب أن تظهر المحتوى عمّا إذا كانت المادة متفجرة، قابلة للاشتعال، عدوانية، أو سامة. يجب وضع العلامات أو الملصقات التحذيرية على سيارة النقل للتحذير نحو مدى الخطورة ولمساعدة العمالة المسئولة عن المساعدة فى الطوارئ فى حالة الانسكاب الغير متعمد الذى يمكن أن يحدث أثناء النقل.

خزانات الحفظ تحت الأرض :

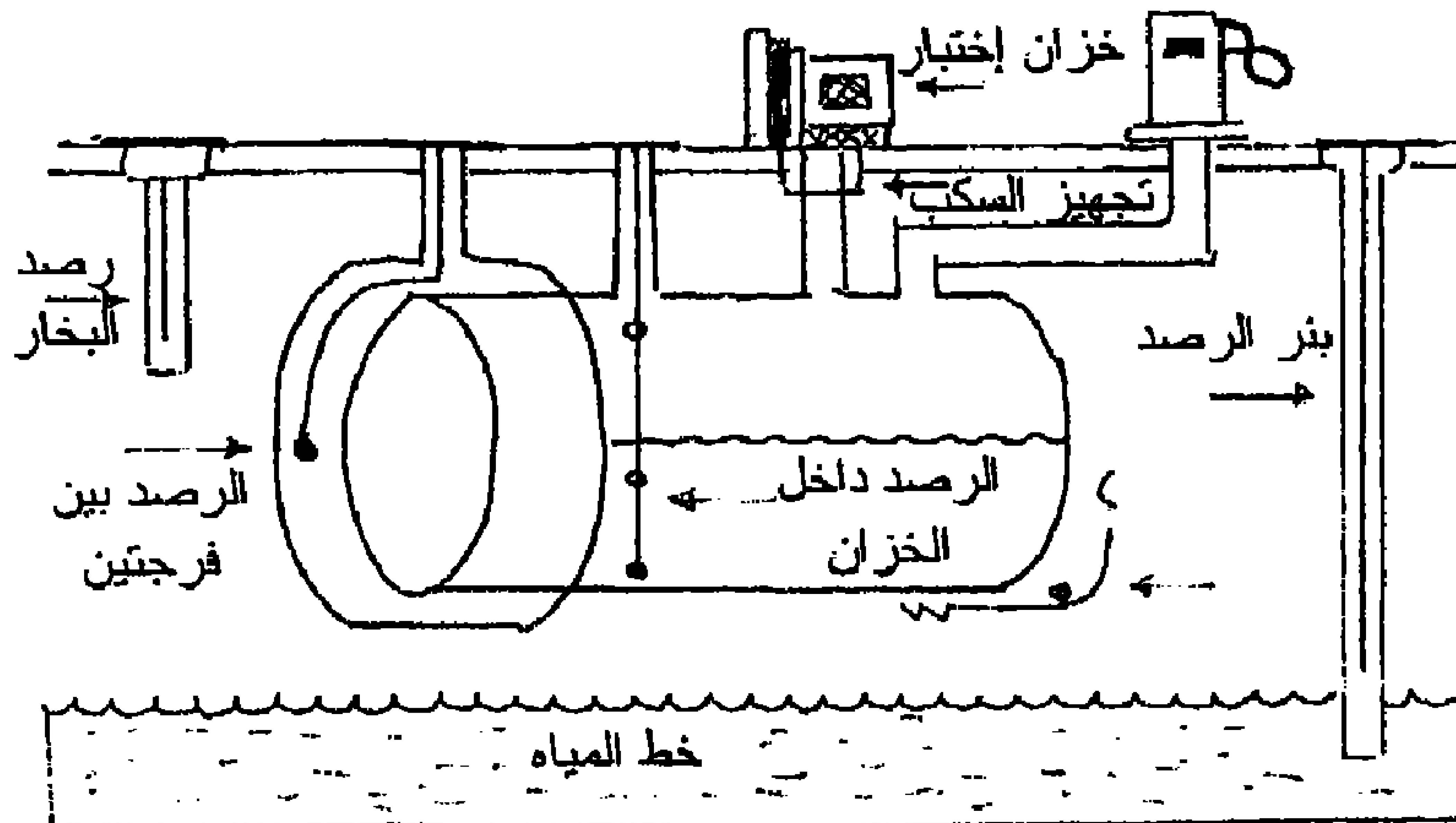
تصميم وإنشاء الخزانات المستخدمة لحفظ المواد الخطرة وكذلك المخلفات الخطرة يعتبر عملاً بيئياً هاماً. آلاف من حالات الإضرار بالبيئة (خاصة تلوث المياه الجوفية) كانت بسبب التسرب من الخزانات. معظم هذه الحالات كانت بسبب التسرب من خزانات الجازولين أو الزيت القديمة تحت الأرض، ولكن كثيرا من الخزانات تحت الأرض المحتوية على المخلفات الخطرة حدث بها تآكل وتسرب. نظراً لأن هذا التسرب يسبب تلوث للمياه الجوفية فإنه يهدد الصحة العامة والبيئة. لذلك فإن خزانات الحفظ تحت سطح الأرض تسبب تهديداً أكثر من تلك التى فوق سطح الأرض. خزانات الحفظ تحت سطح

الأرض تكون غير مرئية وكذلك فإن مكانها يكون غير معلوم للسكان القريبين منها حتى حدوث مشكلة، وحدوث تلف حيث يلزم النظافة والعلاج الذى يكون مكلفاً.

لقد قامت وكالة حماية البيئة (EPA) بوضع المواصفات نحو استخدام خزانات الحفظ تحت سطح الأرض. هذه المواصفات تنطبق على الخزانات حيث أكثر من ١٠% من حجمها يكون تحت سطح الأرض، محتويا مخلفات خطرة أو منتجات بترولية أو أى مواد خطرة أخرى، وكذلك خطوط المواسير ونظم الضخ تحت سطح الأرض المرتبطة بالخزانات تلك كذلك تم تنظيمها. هذه القوانين هى لمنع التسرب والانسكاب وكذلك للكشف عن حدوث هذه الحالات فى حالة وقوعها.

القواعد المنظمة للتصميم والإنشاء والتشغيل لخزانات الحفظ فوق سطح الأرض أو تحت سطح الأرض كثيرة ومعقدة. الخزانات الجديدة تحت سطح الأرض يجب أن تصنع من الصوف الزجاجى أو من الصلب المحمى كاثوديا للحماية من التآكل. كذلك يمكن استخدام نظام حفظ إضافى مثل تلك الخزانات ذات الجدار المزدوج أو حوائط العزل مع طبقة حاملة غير منفذة أو صماء.

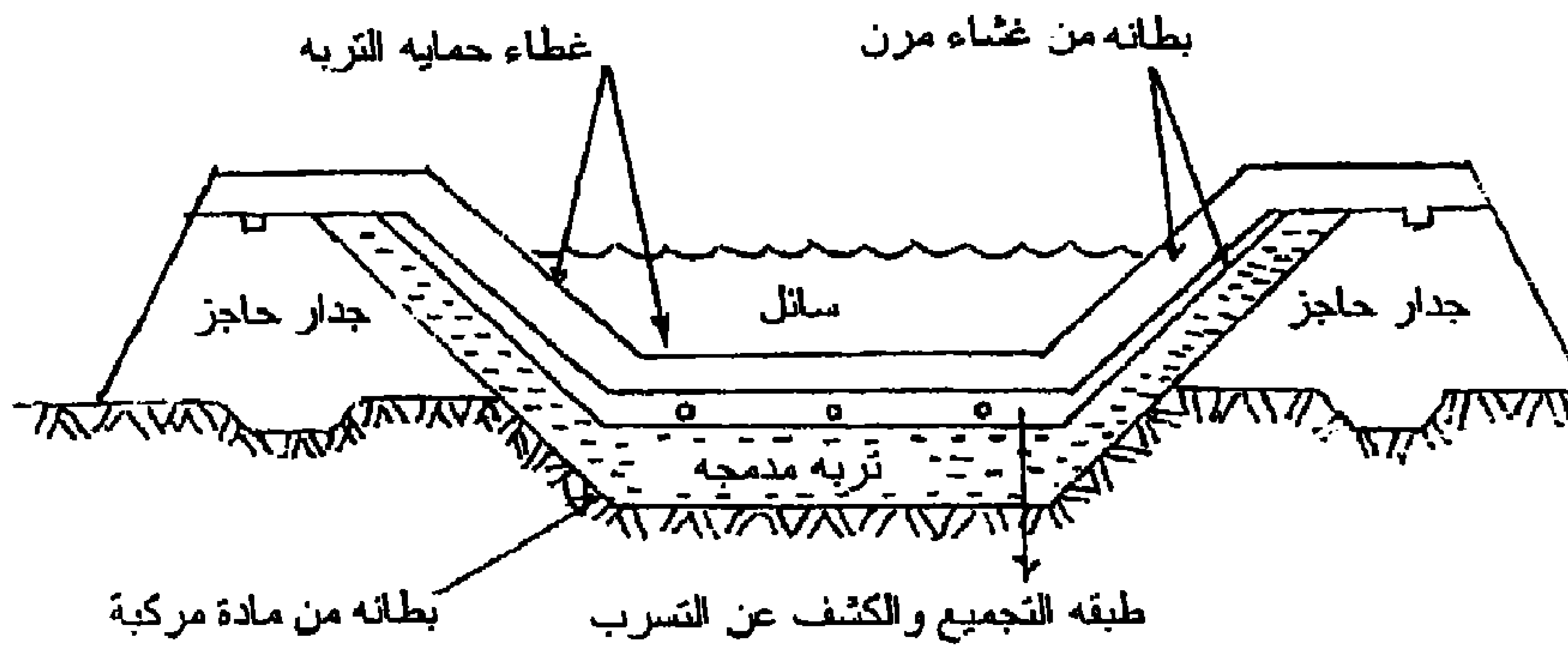
يجب توفير نظام آلى للكشف عن التسرب ونظام للتحذير وكذلك التجهيزات لمنع الملء الزائد وحدوث فائض شكل (٥/٤). كذلك يجب التفتيش الشهرى وإزالة الحمأة من الخزانات. الخزانات الحالية الغير متوفر لها حماية من التآكل أو التسرب يجب خروجها من الخدمة، وتفريغ محتوياتها من السوائل والحمأة والأبخرة ثم إما إزالتها أو ملئها بالرمل والزلط أو الخرسانة.



شكل (٥/٤) بدائل الكشف عن التسرب تشمل الرصد الآلى لكشف الفقد فى الحجم، الأبخرة من تسرب المنتجات البترولية. والسوائل المتسربة. التربة المحيطة، الفراغ بين الخزان.

أ- التجميع السطحى : (Surface Impoundments)

يسمح بالتجميع السطحى للمخلفات السائلة الخطرة فى حالة تطبيقها للقواعد التصميمية الصحيحة، حيث يجب توفير بطانتين (2 Liners) لمنطقة التجميع على الأقل ونظام لتجميع الرشح، بالإضافة إلى رصد المياه الجوفية لكل نظم التجميع السطحية. الشكل (٥/٥) يوضح منطقة تجميع سطحية للمخلفات السائلة الخطرة. الحمأة المتراكمة يجب إزالتها من آن إلى آخر مع توفير التداول لها كمخلفات خطرة.



شكل (٥/٥) لمقطع نظام حجز مياه الصرف بالطبقة المزدوجة

ب- أكوام المخلفات : (Waste Piles)

مع الحرص اللازم فإنه يسمح لمنتجى مخلفات خطرة معينة باستخدام أكوام تكوين المخلفات للتجميع المؤقت للمخلفات الخطرة، يتم ردم المادة فى التربة (Land Filled) عندما يصبح حجم الكومة خارج السيطرة والتحكم. المسموح به فى أكوام المخلفات هو فقط المواد الصلبه الغير مسببة للتلوث والتى لا تتدفق مثل هذه المواد تشمل المواد الغير مغناطيسية من عمليات (تقطيع السيارات) والتى تحتوى على منسوجات، مطاط، بلاستيك، عوازل، رصاص وكادميوم. المخلفات من عمليات استخلاص الألومنيوم يمكن كذلك تجميعها بصفة مؤقتة فى أكوام المخلفات.

يجب إنشاء أكوام المخلفات بحرص فوق قاعدة غير مسامية ويجب أن تتطابق مع متطلبات الردم فى التربة. يجب حماية الأكوام من عمليات التشتت بفعل الرياح والاحتكاك، فى حالة إنتاج مواد تسرب خطرة أو تدفقات فإنه يجب توفير نظام رصد وتحكم.

جـ - التخلص من المخلفات الخطرة فى التربة : (Land Disposal).

مخلفات خطرة معينة يمكن التخلص منها فى التربة. المخلفات الخطرة الغير سائلة أو المعبأة يمكن دفنها فى منطقة ردم مؤمنة، المخلفات السائلة يمكن التخلص منها باستخدام

نظام الحقن للبئر العميق. التخلص فى المناجم تحت الأرض، الكهوف أو المقابر الخرسانية ولكن فقط بعد المعالجة المناسبة ومنع الانتشار.

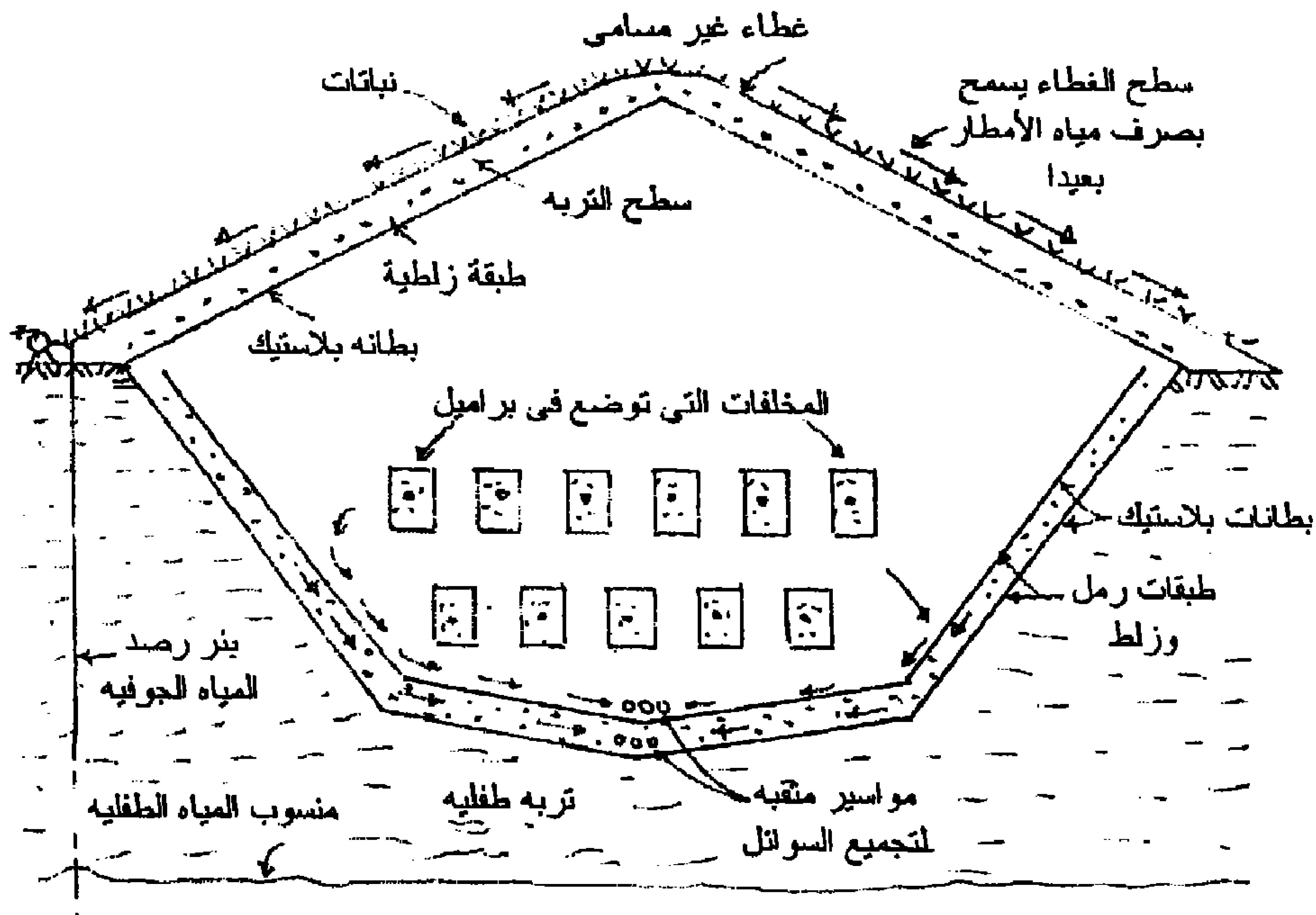
التخلص من المخلفات الخطرة فى التربة ليس هو البديل المفضل بسبب المخاطرعلى البيئة التى يمكن أن يسببها. فى الماضى حيث لم يتم توفير الأمان البيئى الفاعل بما يتطلب إعادة نظافة هذه المواقع. ولكن مع الاختيار المناسب للموقع والتصميم الهندسى الجيد واحتياطات الأمان، فإن التخلص فى التربة هو الأقل تكلفة كبديل لأنواع كثيرة من المخلفات الخطرة. وسوف يظل ضروريا فى المستقبل. حتى مع خفض المخلفات والحرق، فإنه لا يمكن الإبعاد التام للمخلفات الخطرة. لعدم التشجيع على نشاطات التخلص فى التربة وخاصة فى حالة توفر طرق معالجة أو إتلاف أخرى، فإن وكالة حماية البيئة (EPA) وضعت حدوداً حاسمة نحو استخدامها. مخلفات خطرة معينة مثل الدايوكسنز (Dioxins)، السيانيدات، المركبات العضوية المهلجنة، المبيدات المكلورة والأحماض ذات الرقم الهيدروجينى أقل من ٢، ثم حذفهم من التخلص فى التربة. هذه المخلفات يجب معالجتها أو تثبيتها قبل التخلص فى التربة أو أن تكون ذات حدود معينة لتركيز المكونات الخطرة.

<u>د – التخلص الآمن بالردم فى التربة : (Secure Land Fills)</u>

التخلص الآمن بالردم فى التربة يجب ألا يقل ارتفاعه عن ٣ متر (١٠ قدم) من قاعدة الردم من الطبقة الصخرية السفلية أو خزان جوفى المياه الجوفية، وهذا يعتبر أدنى عزل مطلوب لردم المخلفات الصلبة المنزلية. كل الردم الآمن يجب أن يكون له بطانة من طبقتين ونظام جمع المياه المتسربة لزيادة الأمان، وشبكة لرصد الآبار لأخذ عينات المياه الجوفية، مع غطاء غير منفذ وغير مسامى. مقطع فى التربة موضح فى الشكل (٥/٦). البطانة الغير مسامية على القاع والاجناب لردم المخلفات الخطرة الآمن تعمل كعازل لمنع دخول المياه الجوفية أو أى سوائل من مواد الملء. ولكن لا توجد بطانة مؤثرة بنسبة كفاءة ١٠٠%، حيث يتوقع دائماً بعض التسرب من السوائل، البطانة المزدوجة ونظام جمع المياه المتسربة فى الملء فى التربة المؤمن يوفر التأكيد التام لحماية نوعية البيئة والصحة العامة.

يمكن استخدام مرشح مرن يسمى (Geotextile) لفصل التربة ومادة المخلفات من نظام مواسير الصرف (سوائل التسرب Leachate). تحت هذه تكون البطانة الأولية والذى يجب أن تكون من مادة مخلقة (Synthetic) ذات معامل نفاذية مكافئ لـ $١٠^{-٦}$ مليمتر فى

الثانية أو أقل. وهذا يسمى غشاء جيولوجى أو بطانة من الغشاء المرن المصنوعة من بلمرات البلاستيك المرنة. الطبقة السفلية أو البطانة الثانية عبارة عن طبقة مركبة (Composite) من الطفل المدمك والبطانة من الغشاء المرن كما هو موضح فى الشكل (٥/٧). سوائل التسرب التى يتم تجميعها يمكن ضخها لوحدة المعالجة لمعالجتها.



شكل (٥/٦) مقطع فى منطقة ردم مؤمنة

الملء فى التربة المؤمن يعتبر أن له أربع مجالات فى كل عملية. أثناء المجال الأول أو النشط يتم وضع المخلفات الخطرة فى منطقة الملء التى يتم إعدادها. المخلفات الكيماوية الغير متوافقة يتم وضعها فى أماكن منفصلة فى الملء لتجنب الانفجارات أو أى تفاعلات خطرة أخرى. يتم أولا تجميد مادة المخلفات أو احتوائها فى براميل، مع الحرص نحو إتلاف الأوعية عند وضعها فى فراغ التربة المعدة.

أثناء المرحلة الثانية أو النهائية فإن الغطاء الغير مسامى يتم إنشاؤه على موقع الملء. طبقة البطانة المركبة عند القاع، الغطاء الغير مسامى، ونظام جمع سوائل التصرف المزدوج كخط الدفاع الأول ضد التسرب أثناء كلا من المرحلة النشطة والمرحلة النهائية فى عملية الدفن فى التربة. المجال أو المرحلة ما بعد النهائية، والتى تعرف بفترة ٣٠ سنة بعد غلق الموقع، تتضمن العمل المستمر لرصد نظام البئر شكل (٥/٨). وهذا هو

خط الدفاع الثانى. يجب عمل برنامج روتينى لأخذ العينات والاختبار لكشف أى علامات لتسرب الكيماويات أو لتلوث المياه الجوفية.

شكل (٥/٧) مقطع للبطانة المزدوجة ونظام جمع مياه الغسيل للردم الأرضى المؤمن

شكل (٥/٨) نظام رصد المياه الجوفية يتكون من عدد من الآبار موضوعة حول موقع صرف المخلفات

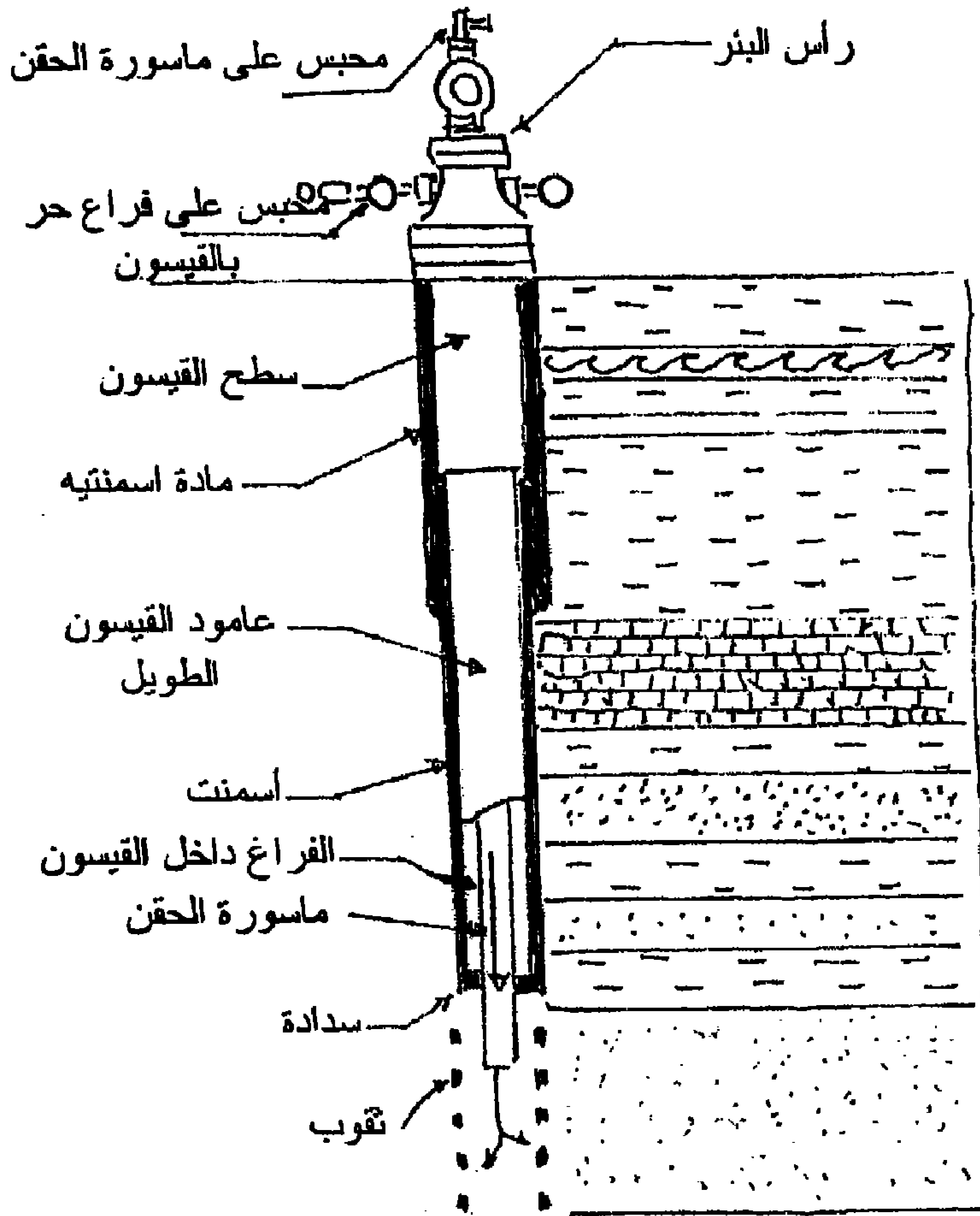
يعتقد أنه لا يوجد ملء فى التربة يمكن أن يكون آمنا للأبد، حيث التحلل الطبيعى لطبقة البطانة للحماية أو القوى الجيولوجية الطبيعية، بما فيها احتمالات الزلازل، سوف تدمر تلك الإنشاءات لأعمال الملء فى التربة. المجال أو المرحلة الرابعة والأخيرة والذى تسمى (Enternity phase)، يتوقع أن تتضمن بعض التسرب لمادة المخلفات فى البيئة. عند اكتشاف هذا التسرب يتم وضع المضخات فى آبار الرصد لتعترض المياه الملوثة وضخها إلى السطح لمعالجتها. خط الدفاع الأخير هذا هو للمحافظة على الخزان الجوفى السفلى نتيجة أى أعمال من هذا الملء فى التربة.

هـ - الحقن تحت الأرض (الحقن الجوفى) : (Underground Injection)

البديل للتخلص فى التربة للمخلفات الخطرة السائلة هو الحقن الجوفى. وهذا يتضمن ضخ السائل خلال بئر محفور إلى طبقة صخرية مسامية. يتم ضخ السائل عندئذ تحت ضغط مرتفع فى المسام والشروخ الصخرية. الطبقة الصخرية التى يتم فيها تخزين السائل عادة من الحجر الجيرى أو الحجر الرملى يجب أن تكون بين طبقات غير مسامية من الطفل أو الصخر، منطقة الحقن هذه يجب أن تكون ما بين عدة مئات من الأمتار إلى قليل من الكيلو مترات أسفل الأرض. طاقة الطبقة الجيولوجية لتقبل حقن المخلفات تتوقف على المسامية (مساحة الفراغات)، النفاذية (القدرة على نقل السائل) وعوامل أخرى.

بئر الحقن يجب أن يكون ما لا يقل عن ٤٠٠ متر بعيدا عن المصدر الجوفى لمياه الشرب، وأن يتم حقن المخلفات فى طبقة جيولوجية منفصلة خالية من التصدعات والشقوق. يجب أن يجهز البئر بالقيسون والتحشيه الأسمنتية لزيادة الحماية ضد أى تلوث لأى إمدادات لمياه الشرب. القيسون عادة يحتوى على ثلاث مواسير متحدة المركز (Concentric). القيسون الخارجى أو السطحى يجب أن يمتد إلى أسفل أعمق خزان جوفى مستخدم كما هو موضح فى الشكل (٩/٥). ماسورة القيسون الطويلة المستقيمة ومواسير الحقن الداخلية تمتد إلى طبقة الحقن. ضغط حقن البئر ومعدل التدفق يجب رصده بحرص، يجب ألا يكون ضغط الحقن كبيراً جداً لتجنب تشقق المكونات الجيولوجية المستقبلة للمخلفات. الصناعات الكيماوية والبترولية هى أكبر مستخدمى آبار الحقن، هذا إلى جانب أن حوالى ٩٠% من استخدامها كبديل للتخلص. معظم آبار الحقن النشطة كانت فى مواقع الصناعات الثقيلة أو فى مواقع إنتاج الزيت والغاز. متطلبات اختيار الموقع لآبار جديدة تركز على المتطلبات الجيولوجية. يجب أن تكون هناك تربة حاملة للمياه لا يستفاد بها وذات حجم كافى، ومسامية، ونفاذية لتقبل المخلفات التى يتم حقنها. التربة

المحصورة فوق وأسفل منطقة الحقن يجب أن تكون سميكة وغير مسامية وذلك لحجـز المخلفات.



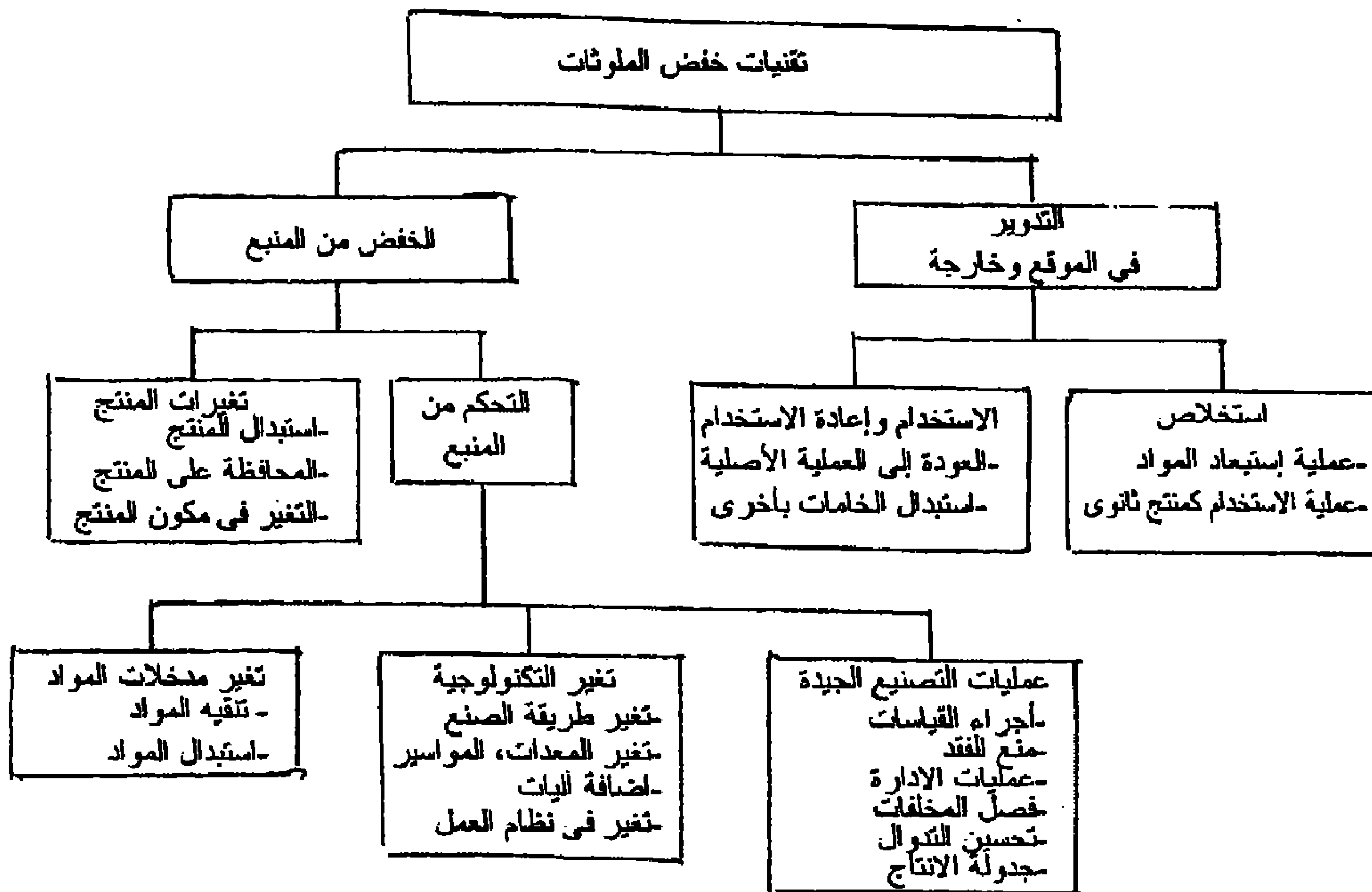
شكل (٩/٥) نموذج لبئر حقن المخلفات الخطرة

يجب عمل دراسات جيولوجية وهندسية مكثفة لتأكيد أن إمدادات المياه الجوفية سوف لا تتأثر بتشغيل بئر الحقن. بالإضافة إلى متطلبات برنامج التحكم فى الحقن الجوفى، فإن كل من الجهات المسئولة عن بيئة الخزانات الجوفية قد يكون لهم متطلبات تنظيمية أخرى لآبار الحقن.

الحقن الجوفى يحتاج إلى مساحة صغيرة من الأرض ولا يتطلـب سـوى معالجـة صغيرة أو بدون معالجة مسبقة للمخلفات، ولكن لا يفضل أن تكون هى الوسيلة الـشائعة للتخلص من المخلفات الخطرة بسبب المخاطر المحتملة للتسرب نحـو خزانـات الميـاه الجوفية المستخدمة للشرب، وذلك رغم الأبحاث الجيولوجية المكثفة والدراسات الهندسية.

٩- خفض الملوثات الخطرة : (Hazardous Waste Minimization)

تقنيات خفض الملوثات تؤكد على خفض إنتاجها من المنبع وكذلك على إعادة الاستخدام (Recycling) بما يقلل إما حجم المخلفات أو الخطورة. التدوير وإعادة الاستخدام هو البديل المناسب، وخاصة بالنسبة للملوثات التى تحتوى على نسبة عالية من المعادن، الزيوت، الأحماض والمواد الأخرى ذات القيمة الاقتصادية. مخطط توضيح تقنيات خفض الملوثات كما فى الشكل (٥/١٠) خفض الملوثات يتطلب مساعدة الحكومة نحو توفير المعلومات التقنية والمساعدات الأخرى إلى منتجى هذه الملوثات.



شكل (٥/١٠) طرق خفض الملوثات

أ- تدقيق ومراجعة خفض الملوثات : (Waste Minimization Audits)

الخطوة الأولى فى وضع برنامج خفض الملوثات هو بعمل تقييم لهذا لخفض أو تقديره. وهذا يعتبر استعراض ومراجعة حريصة نحو فرص الصناعة فى خفض أو تدوير الملوثات، يمكن عمل ذلك بواسطة طاقم التصنيع نفسه أو بواسطة استشارى. الطريقة المؤثر لبدء مثل هذا التدقيق هو باختيار قليل من تدفقات صرف المخلفات أو العمليات للمراجعة المكثفة، وليس بمحاولة تغطية كل تدفقات الصرف مرة واحدة. تقديرات خفض

الملوثات هى بالتعرف على تدفقات الملوثات وخواصـــها، وعمليـــات الإنتـــاج المنتجـــة للملوثات، وكمية الملوثات المنتجة.

لقد اقترحت وكالة حماية البيئة (EPA) الخطوات الآتية للتقدير :

* تحضير خلفية مادة التقييم.

* عمل زيارة قبل التقييم للتعرف على مياه الصرف المستهدفة.

* يتم اختيار أحد تدفقات الصرف لعمل التحاليل التفصيلية.

* عمل زيارة تفصيلية للموقع لجمع البيانات عن تدفقات مختارة للمخلفات ونظم التحكم والبيانات المتعلقة بالعملية.

* يتم إعداد عدد من البدائل لخفض الملوثات.

* عمل تقديرات أولية لأحد البدائل (شاملا التكلفة الأولية).

* اختيارات طبقاً لآثار خفض الملوثات، مدى الاستخدام العادى فى الـــصناعة، ومستقبل الاستخدام فى المصنع.

* إعداد النتائج الأولية لعناصر التخطيط مع الاختبارات الأساسية.

* إعداد التقدير النهائى، متضمناً التوصيات نحو إدارة المصنع.

* إعداد خطة التنفيذ وجدول التنفيذ.

* عمل مراجعات من آن إلى آخر لتحديث التقديرات.

<u>د- دراسة حالة : (Casestudy)</u>

<u>تقييم خفض المخلفات :</u>

فى عام ١٩٨٦ أعدت وكالة حماية البيئة (EPA) تقدير لخفض الملوثات فـــى فـــرن القوس الكهربى لصناعة الصلب. قام طاقم التقييم باختبـــار بـــدائل الخفـــض للملوثـــات، متضمنة خفض المصدر واستعادة المخلفات العدوانية ومن المعادن الثقيلة. لقـــد كـــشف التقييم أن فلوريد الكالسيوم (الفلورسبار Flourspar) فى الحمأة المنتجة أثناء عملية التعادل لمياه الصرف من خط المعالجة الحامض (Pickling) يمكن استعادتها اقتصاديا.

كانت الشركة تتخلص من الحمأة وتشترى سنويا ١٠٠٠ طن من الفلورسبار كمادة خفض درجة حرارة الانصهار (Flux) لعملية صناعة الصلب. طريقة خفض الملوثات التى أعدت بواسطة طاقم التقييم وفرت على الشركة ١٠٠٠٠٠ دولار فى العام التى كانت تستخدم لشراء الفلوروسبار وكذلك ٧٠٠٠٠ دولار إضافية فى العام بسب خفض ٣٠% فى حجم الحمأة المقرر التخلص منها.

د – طرق خفض المخلفات :

يمكن تصنيف طرق خفض كميات الملوثات إلى عدة أنواع، منها تغيرات فى المنتج وفى الخامات، تغير فى تكنولوجيا التصنيع، تطوير عمليات التشغيل، والتدوير (الشكل ١٠/٥). هذه الطرق يمكن استخدامها فى كثير من الصناعات. معظمها يشمل الخفض من المنبع، والبعض الآخر إعادة الاستخدام. الطريقة المناسبة لأى صناعة يمكن تحديدها بالدراسة الأولية لتقدير خفض الملوثات.

من بين العمليات المتطورة هو شراء مواد إنتاج أقل سمية، تحسين عمليات تخزين وتداول المواد، تدريب العمالة، التنظيم الداخلى الجيد للأداء داخل الوحدة الإنتاجية. يمكن فصل المخلفات الخطرة عن المخلفات الغير خطرة لتوفير تكاليف التخلص وتوفير فرص جيدة لإعادة الاستخدام. يمكن تطوير معدات الإنتاج لخفض انتاج المخلفات وللمساعدة فى استعادة المادة، كما أن برنامج الصيانة المطورة يمكن أن يكون معيناً. المنتجات النهائية يمكن إعادة صياغتها لتكون أقل خطورة، ومعالجة مصادر التسرب وعدم حدوث انسكاب غير متعمد. نظام الدائرة المغلقة للإنتاج (Closed loop production) يمكن تصميمه وتنفيذه لزيادة التدوير وإعادة الاستخدام فى الموقع. نظافة الأجزاء المعدنية وعمليات الطلاء تكون أساسية فى كثير من الصناعات. المواد الخطرة من نظافة الأجزاء المعدنية يمكن خفضها بخفض سمية أو حجم مادة التنظيف المستخدمة. الطلاءات ذات السمية المنخفضة (مثل تلك ذات الأساس المائى) والتى تحتوى على المعادن الثقيلة يمكن استخدامها لخفض الملوثات الخطرة المتعلقة بمادة البويات.

أحياناً يمكن استخدام مخلفات أحد الشركات كخامات لشركة أخرى. المنظمات التى تعمل كبيوت للتصفية للمخلفات الخطرة أو تبادل المادة (Hazardous waste clearing Houses or Material Exchanges) يمكنها تسهيل جهود التبادل والتدوير. بيت التصفية والنقاء يمكن أن يساعد لعمل الترتيبات بين منتجى المخلفات والمستخدمين لها. كما يمكن أن تعمل كوسيط أو كعامل انتقال مباشر بشراء المخلفات من المنتج وإعادة معاملاتها عند

الحاجة، وبيعها لإعادة استخدامها بواسطة بعض المصانع الأخرى. بيوت النظافة والتصفية والتبادل لاقت بعض النجاح فى عديد من الدول الأوربية والاسكندنافية. حيث التنظيمات الخاصة أو الحكومية المدعمة للتبادل يمكن أن تقوم بأدوار هامة فى إدارة المخلفات الخطرة فى السنين القادمة فى الولايات المتحدة ودول أخرى كثيرة.

٥- استعادة صلاحية الأماكن حيث تم التخلص العشوائي للمخلفات الخطرة :

Site Remedation:

كثير من المصانع المنتجة للمخلفات الخطرة قامت بالتخلص من مخلفاتها بدون مراعاة لحماية الصحة العامة وحماية البيئة والتخلص بطريقة آمنة. ومثل هذه الحالات يلزم اتخاذ الخطوات اللازمة لعلاجها. ولكن إجمالى مساحة منطقة الردم ودرجة ما أحدثه هذا التخلص العشوائى من الأضرار بالبيئة بدون دراسات مكثفة يقوم بها المهندسون، الجيولوجيون، خبراء البيئة للموقع وتصميم خطة الحماية وخاصة بالنسبة للتلوث الهيدرولوجى (للمياه الجوفية)، وذلك بعمل الأبحاث والدراسات الميدانية قبل البدء فى تنفيذ طرق الإصلاح والعلاج.

مراحل عمل الأبحاث والدراسات الأولية تتضمن:

أ- طرق أخذ العينات من الموقع :

إصلاح الموقع يجب أن يسبقه دراسات مكثفة عن حالة السطح وأسفل السطح، حيث أخذ العينات يعتبر الإجراء العام لتلك الدراسات الحقلية. ومن المهم اختيار طريقة أخذ العينات. الدراسات الحقلية للموقع يمكن أن تكون بدون اختراق أوبالاختراق للتربة. الدراسات والمباحث الحقلية بدون اختراق تشمل التصوير الجوى، الدراسات الجيولوجية للسطح. والدراسات الإشعاعية للسطح. يمكن استخدام واحد أو أكثر من هذه الطرق وذلك قبل أخذ العينات من الموقع لإجراء التحاليل المعملية. يمكن الاستعانة بالصور الجوية التى تؤخذ باستمرار أو السابق تصويرها وذلك للتعرف على حدود مساحة منطقة الردم، مسارات الصرف، وأماكن التخزين، وأماكن مصدر التلوث. التقنيات الجيوفيزيقية (Geophysical) تتضمن الكهرمغناطيسية، رادار اختراق التربة، الدراسات بالزلزال الصناعى (Seismic). وهذه يمكن أن توفر بيانات إضافية عن الموقع مثل أماكن البراميل المدفونة فى بعض الحالات، وحدود المناطق الملوثة. وتقنيات المباحث الراديولوجية تستخدم لتحديد المساحات حيث تتركز المخلفات ذات النشاط الإشعاعى. الطريقة العادية

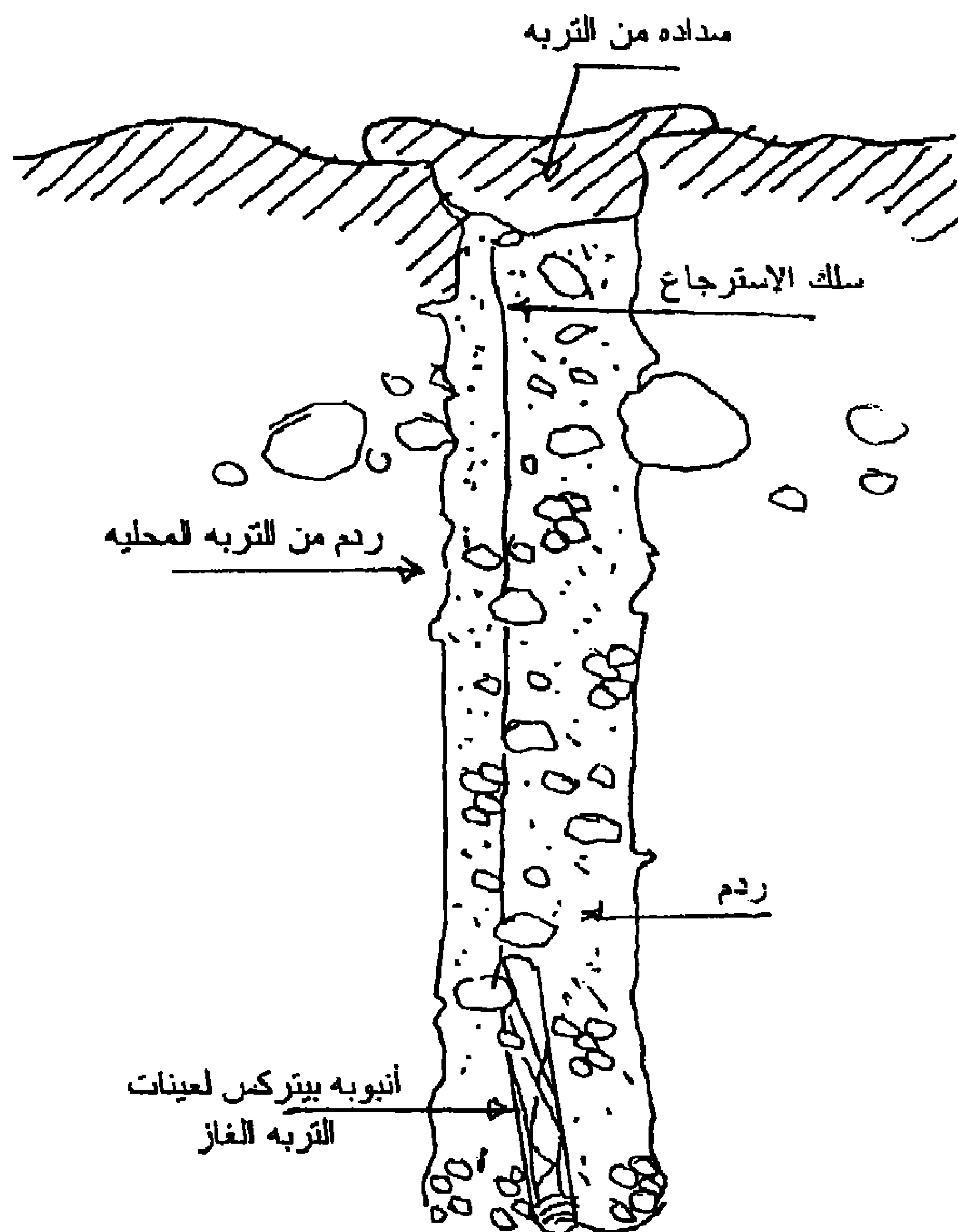
والمؤثرة للدراسات الراديولوجية هي طريقة أشعة جاما (Gamma - Work Dver Survey)، وتجرى هذه الطريقة بحمل جهاز الكشف بأشعة جاما على السطح في خطوط مسار محددة.

تقنيات أخذ العينات بالاختراق : (Intrusive Sampling)

تقنيات أخذ العينات بالاختراق تشمل اختراق سطح الأرض أو سطح الماء. وهذه تشمل مباحث التربة – الغاز وكذلك أخذ عينات رواسب التربة، المياه السطحية، والمياه الجوفية. لمنع إحداث التلف ولأغراض الأمان فإنه يجب عمل دراسات مسبقة قبل أخذ العينات بالاختراق.

ب- المباحث الحقلية لعينات الغاز :

وهذه طريقة غير مكلفة نسبيا وتستخدم حيث المركبات العضوية المتطايرة يمكن أن تكون من بين ملوثات الموقع. يتكون غاز التربة (مثل غاز الميثان والهيدروكربونات الأخرى) طبيعيا في التربة عند تحلل المركبات العضوية. يكون من الضروري جمع عينات غاز التربة من المساحات القريبة من الموقع للتفرقة ما بين المخلفات الطبيعية والمسببة للتلوث. من بين طرق أبحاث غاز التربة (Gas - Soil)، التصفية الحقلية (Field Screening) والتي توفر السرعة والاقتصاد في الحصول على النتائج. في هذه الطريقة يستخدم كاشف محمول يعمل بالتأين الضوئي (Portable Photoionization Detector) والمزود بقضيب أخذ العينات التي يتم دفعه يدويا والذي يفيد أساساً عندما تكون مستويات التلوث أكبر من واحد جزء في المليون. قضيب أخذ العينات يمكن دفعه لأقصى عمق في الأرض وهو حوالي ١,٥ متر. نوع آخر من طرق البحث والاستطلاع هو طريقة عينة الأنبوبة (Sample Tube) الموضحة في الشكل (٥/١١). في هذه الطريقة أنابيب الاختبار الزجاجية المحتوية على شعيرات الحديد المغناطيسي (Ferromagnetic Filaments) والكربون المنشط للامتصاص يتم وضعها أسفل سطح الأرض وتركها لفترة زمنية. بعد أن يتم استرجاعهما يتم إرسالهما إلى المعمل حيث يتم تحليل العينة باستخدام كتلة القياس الطيفي (Mass spectrometer) والتي تؤكد التعرف الدقيق لمعظم المركبات العضوية. هذه الطريقة مفيدة جداً في الأماكن حيث يكون مستوى التلوث منخفض جداً لأن أنابيب العينة يمكن تركها في الأرض لمدة زمنية طويلة للحصول على النتائج. النتائج رغم هذا قد تستغرق عدة أسابيع للحصول عليها.



شكل (٥/١١) منشأ ضحل لأنبوب عينات بيتركس للتربة – الغاز

أخذ عينات التربة : (Soil Sampling)

أحد أهداف المباحث الحقلية هو لتعيين درجة التلوث الموجودة فى التربـــة. التربـــة يمكن أن تكون ملوثة بفعل الانسكاب الكيماوى، التسرب من خزانات الحفظ تحت الأرض، البراميل المدفونة، وكذلك التخلص العشوائى من المخلفات. تقنية أخذ عينات غاز – التربة السابق الإشارة إليها تفيد فقط فى حالة المواد العضوية المتطايرة، ولذلك فإن هناك طرق أخرى تستخدم عندما تكون الملوثات غير متطايرة.

أدوات أخذ العينات تشمل مجرفة، مثقاب يدوى (Hand Auger) ومطرقـــة منزلقـــة، وعدد من أنبوب أخذ العينات. يمكن استخدام المجرفة اليدوية لجمع العينات المخطوفة من التربة السطحية، يتم وضع العينة مباشرة فى قنينة الحفظ. تستخدم هذه الطريقـــة لأخـــذ عينات التربة الغير عميقة، رغم أن الامتداد لعمق أقل من ١,٥ متر يمكن تحقيقه باستخدام

المثقاب اليدوى. نظراً لأن دوران المثقاب يعمل على خلط التربة فإن هذه الطريقة تفيد أساساً فى حالة العينات المركبة. العينات من التربة الغير عميقة يمكن الحصول عليها كذلك باستخدام أداة الحفر المجرفة والمطرقة والتى تشمل اسطوانة مجوفة من الصلب المقاوم، وقضيب امتداد والمطرقة التى تستخدم لدفع الإسطوانة الجوفاء فى التربة، حيث تنقل العينة من الإسطوانة إلى قنينة الحفظ.

تجميع عينات التربة من أعماق أكبر من ١,٥ متر يتم عادة بدفع أنبوبة مسمطة لأخذ العينات، حيث تستخدم أدوات حفر لدفع جهاز أخذ العينات إلى عمق كبير فى التربة. أحياناً يمكن استخدام أنبوبة أخذ العينات ذات الجدار الرقيق بالدفع الهيدروليكى فى التربة بدلاً من الدفع بالطرق. بهذه الطريقة فإن عينة التربة لا تكون مدكوكة.

أخذ عينات الرواسب والمياه السطحية :

أحياناً يكون من الضرورى تعيين ما إذا كانت الملوثات موجودة فى ترسيبات المجارى المائية أو الأنهار أو قرب الموقع. أهمية ذلك بسبب احتمال سرعة انتشار الملوثات فى المياه المتدفقة. بالإضافة إلى طريقة المجرفة والمطرقة المنزلقة، فإنه يمكن أخذ عينات الرواسب باستخدام الطريقة الصندوقية لأخذ العينات. فى هذه الطريقة يتم دفع صندوق أخذ العينات من الصلب المقاوم المزود بفكى كماشة العينة المحمل على زنبرك وقضيب مزود بآلية تحرير الزنبرك فى الرواسب.

عند تحرر فكى الكماشة فإن قاع الصندوق يتم قفله حيث يمكن استعادة العينة من الماء.

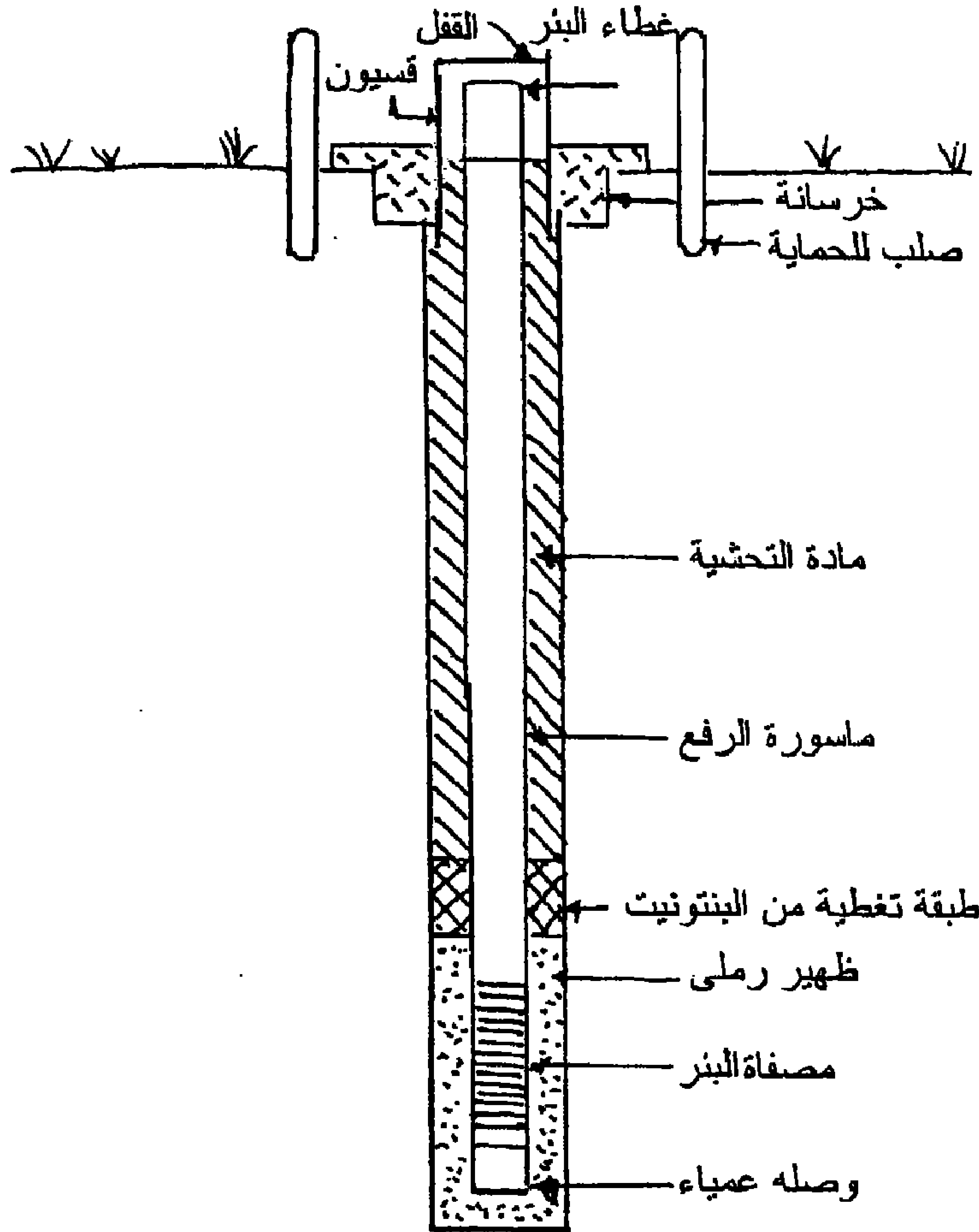
بالإضافة إلى تلوث التربة والرواسب، فإنه يكون من الضرورى عادة ما إذا كانت الملوثات قريبة من المياه السطحية أو قرب الموقع. العمق الذى تؤخذ عنده العينات يتوقف على المستوى المشكوك فيه وطبيعة الملوث، ولكن عادة يتم جمع العينات من سطح الماء، بالنسبة لجمع العينات عند منسوب أقل من ١,٥ متر من سطح الماء، يمكن استخدام قنينة العينات الممتدة، حيث عند خفض القنينة إلى العمق المطلوب يتم رفع الغطاء حيث تملأ القنينة بالماء. يمكن جمع العينات عند أعماق أكبر من ١,٥ متر باستخدام طريقة (Kemmer Bott Method)، حيث يتم خفض القنينة بواسطة كابل مرن وفتحها بواسطة ثقل التحرر.

أخذ عينات المياه الجوفية :

دائما يوجد احتمال أن الملوثات الموجودة فى التربة سوف تتسرب نحو المياه الجوفية أسفل الموقع الملوث. بمجرد وصول الملوثات إلى المياه الجوفية فإنها تنتشر فى كل الخزان الجوفى. استخدام القنينة المسماة طريقة الدفع المباشرة (Direct push method)

مع المعمل المتحرك والذى يوفر الجمع السريع والتحليل للعينات بطريقة اقتصادية. تستخدم قضيب الضغط المركب على عربة بطريقة هيدروليكية واستخدام المطرقة وذلك لضغط قضيب أخذ العينات حتى عمق ٦٠ متراً خلال التربة حتى الوصول إلى المياه الجوفية. عندئذ يتم إنزال أداة نزح أو دلو ذو قطر صغير أو قنينة عينات بثقل داخل القضيب. بعد التقدير الأولى لحالة المياه الجوفية بهذه الطريقة، فإنه يمكن عمل بئر رصد ثابت وذلك لأخذ العينات لفترة طويلة وكذلك لإمكان عمل الإصلاحات فى الموقع.

آبار الرصد توفر تكرار أخذ عينات المياه الجوفية، وكذلك ملاحظة التغير فى مناسيب المياه الجوفية. المكونات الرئيسية لبئر رصد المياه الجوفية موضحة فى الشكل (٥/١٢).



شكل (٥/١٢) المكونات الأولية لبئر رصد المياه الجوفية

تكون فتحات مصفاة البئر المصنوعة من الصلب أو من البى فى سى كبيرة نسبيا وذلك لتسمح بحرية التحرك للمياه الجوفية والملوثات نحو البئر، وفى نفس الوقت تكون صغيرة لحجز معظم حبيبات التربة. توجد وصلة صماء أسفل المصفاة لحجز حبيبات التربة الصغيرة التى تمر خلال المصفاة، وهذه يمكن تنظيفها بانتظام للمحافظة على نظافة مصفاة البئر.

قبل جمع العينات من بئر الرصد، فإنه يجب تنمية البئر. حيث أن ذلك يعيد للخزان الجوفى خواصه الهيدروليكية والجيوكيماوية والتى قد يكون حدث لها اضطراب أثناء عملية حفر البئر. التنمية تشمل الاضطراب (Surging) والضخ لمدة طويلة بما تكفى لنظافة البئر وكذلك لثبات نوعية المياه من ناحية الرقم الهيدروجينى، ودرجة الحرارة، والتوصيل الكهربى. جنباً إلى جنب مع عملية التنمية للبئر فإنه يجب أن تجرى عملية النظافة والتى نعنى بها إزالة المياه الساكنة من البئر بما يمكن من جمع العينة الممثلة للواقع. يتم أولاً ملأ قنينات العينات للمواد العضوية المتطايرة، ذلك لأن المواد العضوية المتطايرة يتم فقدها باستمرار إلى الجو أثناء تنفيذ طريقة أخذ العينات. عادة يتم أخذ قراءة منسوب المياه قبل أخذ العينة من البئر. عينات المياه الجوفية يمكن سحبها من البئر بطرق كثيرة. أبسط طريقة غير معقدة لأخذ العينات هى بإنزال (Bailer) فى البئر على خط (Fishing line) بعد رفع (Bailer) يتم نقل المياه فى مجموعة من أوعية جمع العينات. التجهيزة المسماه (Bomb Sampler) يمكن إنزالها فى البئر، وهذه توفر جمع المياه عند عمق محدد فى عامود الماء. يمكن إنشاء طلمبة المكبس (Piston Pump) فى البئر لإمكان أخذ العينات بانتظام لمدة زمنية طويلة، وكذلك يمكن استخدام الطلمبات الغاطسة فى حالة الآبار العميقة.

<u>أخذ عينات المخلفات الملوثة :</u>

البراميل والخزانات التى قد تحتوى على مخلفات خطرة هذه توفر مشاكل أمنية، حيث يجب فتحها وأخذ العينات بالطريقة التى تمنع التسرب المفاجئ للأبخرة أو السوائل، أو اللهب، أو الانفجارات. يتم أخذ عينات ممثلة للواقع من عمق البرميل أو الخزان.

<u>المباحث الحقلية والتأمين :</u>

يمكن مواجهة كثيراً من المخاطر والعقبات أثناء المباحث والدراسات الحقلية لموقع مخلفات خطرة. الفنيين القائمين بالمباحث الحقلية يجب أن يكون لديهم المعرفة الكافية للمخاطر بما يتطلب إجراء المباحث للموقع مع الحذر الشديد. المثالى هو أن يتكون طاقم

المباحث الحقلية بما لا يقل من ثلاثة أفراد لأغراض التأمين. بالإضافة إلى معرفة كل الخواص الكيماوية والطبيعية والبيولوجية لمواد المخلفات الخطرة، فإنه يجب أن يكون لهم المعرفة التامة بتقنيات الإسعاف الأولى. كما يجب أن يكون لديهم الدراية بالاستخدام المناسب والتشغيل لمهمات الوقاية الشخصية والمعدات وكذلك بتجهيزات أخذ العينات والكشف عن الغازات السامة أو القابلة للاشتعال مع استخدام الظروف الجوية الخالية من الأكسجين أثناء المباحث الأولية للموقع.. مثل هذه التجهيزات يجب أن تكون معايرة قبل الاستخدام. بالإضافة إلى حماية التنفس فإنه يجب استخدام المهمات والمعدات لحماية العين والجسم. حماية العين تشمل استخدام نظارات الوقاية، أو حماية الوجه المتصل بغطاء الرأس الصلب، وذلك طبقاً للمخاطر المحتملة. أحياناً تستخدم مهمات التغطية الكاملة المقفلة. أنواع ومستويات الحماية المطلوبة يتم تحديدها قبل دخول العامل إلى الموقع.

<u>مستويات الحماية لدخول الموقع :</u>

معدات حماية الجسم من الالتصاق بالمواد المعروفة أو المحتملة كمواد كيماوية خطرة تنقسم إلى أربعة أقسام طبقاً لدرجة الحماية التى توفرها :

١- المستوى (أ) : يكون ذلك عندما يكون المطلوب أعلى مستوى من الحماية للجهاز التنفسى والعين والجلد.

٢- المستوى (ب) : عندما يكون أعلى مستوى من الحماية مطلوب للجهاز التنفسى ولكن مستوى أقل لحماية الجلد. وهذا أدنى مستوى يوصى به عند الدخول الأولى للموقع حتى التعرف على المواد الخطرة بالدراسة الحقلية.

٣- المستوى (جـ) : يكون ذلك عند معرفة أنواع المواد التى يحملها الهواء، وقياس التركيزات، مع مطابقة متطلبات استخدام أجهزة التنفس بتنقية الهواء.

٤- المستوى (د) : انتظام العمل بما يوفر أدنى حماية، حيث لا يتم استخدام أجهزة حماية الجلد أو الجهاز التنفسى فى أى مكان.

<u>حماية العمل فى الموقع :</u>

١- لمنع الانتقال الغير متعمد للمواد الخطرة من موقع المخلفات إلى المناطق التى لا تتأثر، فإنه يلزم السيطرة والتحكم فى العمل عند مواقع المخلفات الخطرة، ويمكن تحقيق ذلك بعدة طرق من بينها.

أ – وجود عناصر أمن وموانع طبيعية لإبعاد أى أشخاص عدا طاقم العمل عن المنطقة.

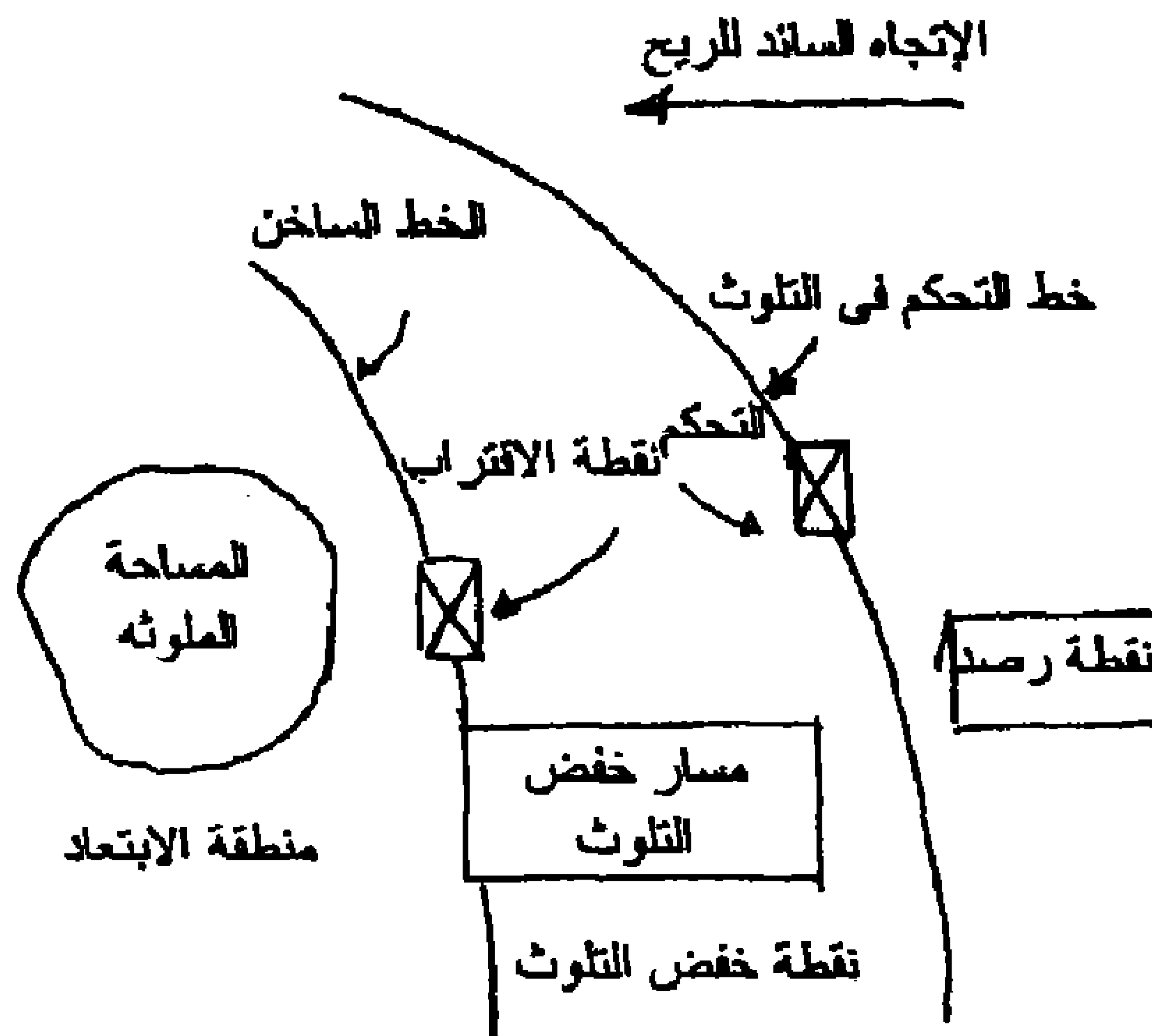
ب – تحديد مناطق للعمل داخل الموقع وطرق الاقتراب منها.

جـ – تنفيذ الأعمال بالطريقة التى تقلل من تعرض العاملين والمعدات وتقليل احتمال انتشار الملوثات فى الهواء.

د – تبنى الخطط المناسبة لخفض التلوث.

منطقة العمل :

طريقة خفض انتقال الملوثات هى بالرسم والتحديد الدقيق للمناطق فى الموقع حيث تتم العمليات التى تم توصيفها. يكون التحرك للأفراد والمعدات بين المناطق محدوداً بواسطة نقطة التحكم فى الاقتراب. المناطق الثلاث العادية هى منطقة الابتعاد، ومنطقة خفض الملوثات، ومنطقة المعاونة شكل (٥/١٣).



شكل (٥/١٣) مخطط لمناطق العمل فى الموقع

منطقة الابتعاد هى المنطقة الداخلية للمناطق الثلاث ذات المركز الواحد، وهى المنطقة حيث التلوث يكون موجوداً أو محتمل وجوده. يتم وضع نقطة تحذير حول محيط المنطقة (يسمى الخط الساخن) لتنظيم تحرك المعدات والأفراد فى الدخول والخروج، كل الأشخاص الذين يدخلون المنطقة يجب أن يستخدموا مستويات الحماية المناسبة. يتم تسوير الخط الساخن بعلامات تحذير ويمكن إضافة المعلومات المتاحة. منطقة المعاونة وهى

الجزء الخارجى من الموقع وهى منطقة نظيفة وغير ملوثة. يتم وضع عربة حمل المعدات ومركز الإدارة فى هذه المنطقة: مع الحد من المرور باستثناء المصرح لهم بذلك.

منطقة خفض التلوث توفر الفاصل بين المنطقة. الإبعاد الملوثة والمنطقة النظيفة (منطقة المعاونة). توضع محطات إزالة التلوث فى هذه المنطقة واحدة للأفراد وواحدة للمعدات.

الخروج من منطقة الابتعاد يكون من خلال مسار خفض التلوث. خط الحدود ما بين منطقة خفض التلوث ومنطقة المعاونة يسمى خط التحكم فى التلوث. الوصول إلى منطقة خفض التلوث من منطقة المعاونة يكون خلال نقطة تحكم. الأفراد الذين يدخلون يجب ارتداءهم مهمات الحماية المناسبة، دخول منطقة المعاونة يتطلب إزالة كل معدات الحماية التى تم ارتدائها فى منطقة خفض التلوث.

تقنيات المعالجة والإصلاح :

الهدف الأساسى لمعالجة الموقع هو أى خطر يسبب انتشار أو تسرب مادة المخلفات وكذلك لتقليل أى تهديد للصحة العامة ونوعية البيئة وخاصة بالنسبة للمياه الجوفية. طريقة الأداء المطلوبة تتوقف على نوع مادة المخلفات وكذلك مدى التلوث الموجود، ومكانه، وعوامل أخرى. حيث أن كل مكان يعتبر ذو خواص معينة أساساً بالنسبة للظروف الهيدرولوجية، لذلك فإنه لا يوجد تشابه فى علاج نوعين من المخلفات الخطرة، حيث يلزم عمل الإجراءات الهندسية المدققة فى كل حالة.

إزالة المخلفات :

أحد الطرق الممكنة للعلاج هى بالإزالة لمادة المخلفات من الموقع بالحفر أو الالتقاط والنقل لمكان آخر للمعالجة، للحرق، أو للتخلص النهائى بالردم المؤمن. هذا الحل فى الموقع يمكن أن يكون الأكثر ملاءمة لمن يعيشون قريباً من الموقع ولكن يمكن أن يكون ذلك مكلفاً. كذلك فإن نقل المخلفات من مكان إلى آخر مازال يحمل مخاطر تلوث البيئة. التربة الملوثة يمكن إزالتها باستخدام المعدات المناسبة، ولكن يلزم معدات خاصة لإزالة الأوعية والبراميل المدفونة. يجب الحذر الشديد لمنع انطلاق الملوثات أثناء عمليات الحفر أو الإزالة.

انتشال الرواسب الملوثة من برك المخلفات الخطرة يتطلب كذلك احتياطات خاصة لمنع حدوث تلوث إضافى. تستخدم آلات القادوس أو الدلو المحارى، أو ناقلة بسلسلة جر، والحفارة العكسية لالتقاط الرواسب الملوثة فى بعض الحالات، قد يكون من الضرورى أحيانا تحويل المجرى أو عمل سد أولا. عندما تكون الرواسب غير متماسكة أو أنها ذات محتوى عالى من المياه، فإن المادة يمكن ضخها فى شكل الردغة وهذا ما يسمى بالانتشال الهيدروليكى. المادة الملتصقة يمكن سحب المياه منها حيث تتم المعالجة المناسبة لكل من الماء والمادة الصلبة كل على حدة ثم التخلص النهائى.

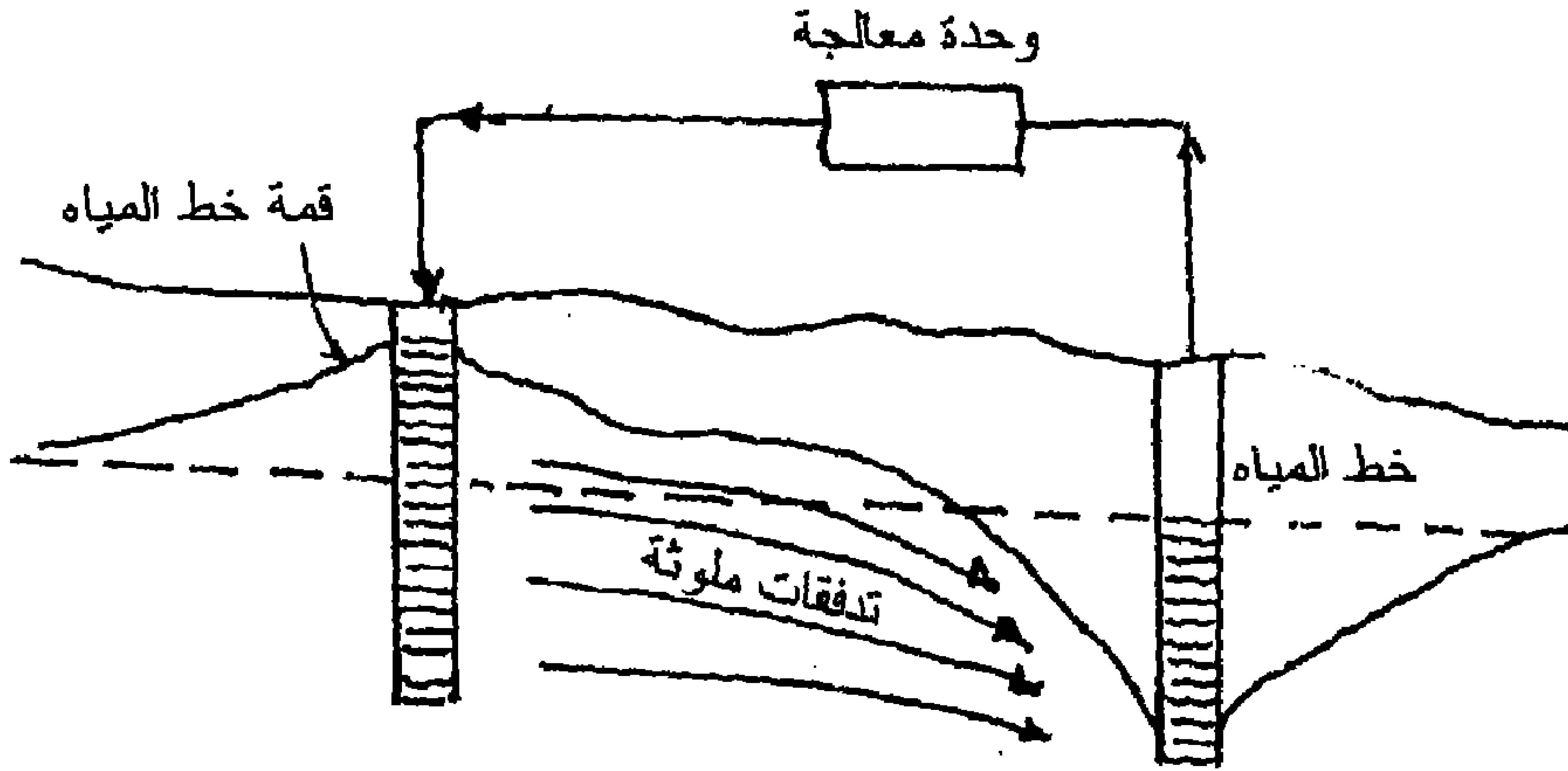
العلاج فى الموقع :

العلاج فى الموقع حيث لا يتم إزالة الملوثات إلى مكان آخر، يكون الهدف منها هو خفض التسرب وحماية المياه الجوفية من التلوث، وكذلك احتواء ومنع تحرك أو تسرب لأى مياه جوفية كانت قد تلوثت. وهذا يمكن أن يتضمن الإزالة المؤقتة للمخلفات، إنشاء منطقة ردم مبطنة ومؤمنة فى نفس الموقع، مع إعادة وضع المخلفات فى منطقة الردم الجديدة. وقد تتضمن استخلاص التربة أو المياه الجوفية، المعالجة أو إتلاف الملوثات، ثم إعادة وضع أو إعادة حقن للتربة أو المياه الجوفية النظيفة. وأخيراً فإن المعالجة فى الموقع قد تشمل العزل والاحتواء للمخلفات بدون تحريكها وذلك بإقامة حواجز غير مسامية لمنع تدفق المياه أو السوائل الأخرى.

الاستخراج، المعالجة، الإعادة :

المياه الجوفية فى موقع مخلفات قديم يمكن ضخها أو استخراجها لخفض خط المياه الاستاتيكى ليكون أسفل مادة المخلفات الخطرة. فى كثير من الحالات يتم استخراج المياه الجوفية من منطقة ملوثة ومعالجتها لإزالة الملوثات. المياه المعالجة يمكن صرفها على سطح الأرض أو إعادة شحنها الجوفى حول حدود الكتلة المائية. طريقة الضخ والمعالجة موضحة فى الشكل (٥/١٤).

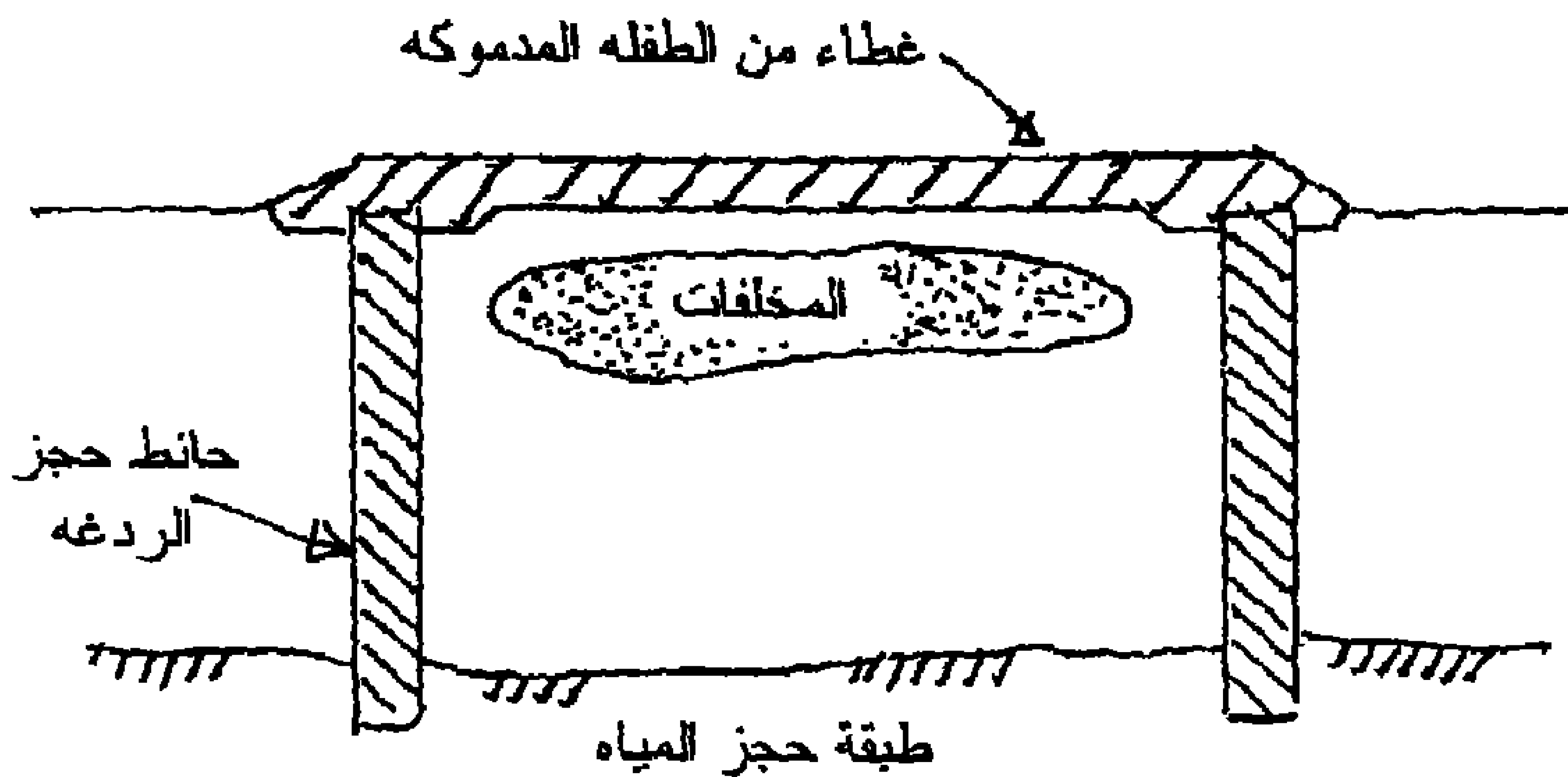
يمكن إزالة غاز التربة السام أو القابل للاشتعال الناتج عن التحلل اللاهوائى أو تطاير المخلفات المدفونة باستخدام مروحة سحب حثية (Induced Draft ExtractionFan) والمعالجة بالادمصاص على الكربون المنشط. فى بعض الحالات يمكن تدمير الغازات بالشعلة (Flare) أو بتجهيزات الحرق. كذلك فإن التربة الملوثة يمكن استخراجها بالحفر من موقع المخلفات الخطرة ومعالجتها، ثم إعادتها إلى الموقع.



شكل (٥/١٤) طريق الضخ والمعالجة لمعالجة المياه الجوفية الملوثة

طرق الاحتواء التام :

يمكن إنشاء الحوائط الرأسية من دعائم ألواح الصلب أو خنادق الردغة (Slurry Trenches) لإيقاف التحرك الأفقى للسائل. ولكن حواجز القطع تحت السطح هذه تكون مفيدة فقط فى حالة وجود طبقة صماء أسفل موقع المخلفات. حائط الحجز يجب أن يخترق هذه الطبقة والتى تعمل كبطانة حماية طبيعية سفلية. يمكن دفع دعائم ألواح الصلب لعمل الحوائط الرأسية بعمق حتى ٣٠ متراً إذا كانت التربة ليست صخرية، ولكن هذه الدعائم من الصلب تكون غير مناسبة إذا كانت المخلفات تحتوى على سوائل عدوانية. يمكن بناء حائط حجز لردغة السائل لاحتواء معظم المخلفات الخطرة كما هو موضح فى الشكل (٥/١٥).



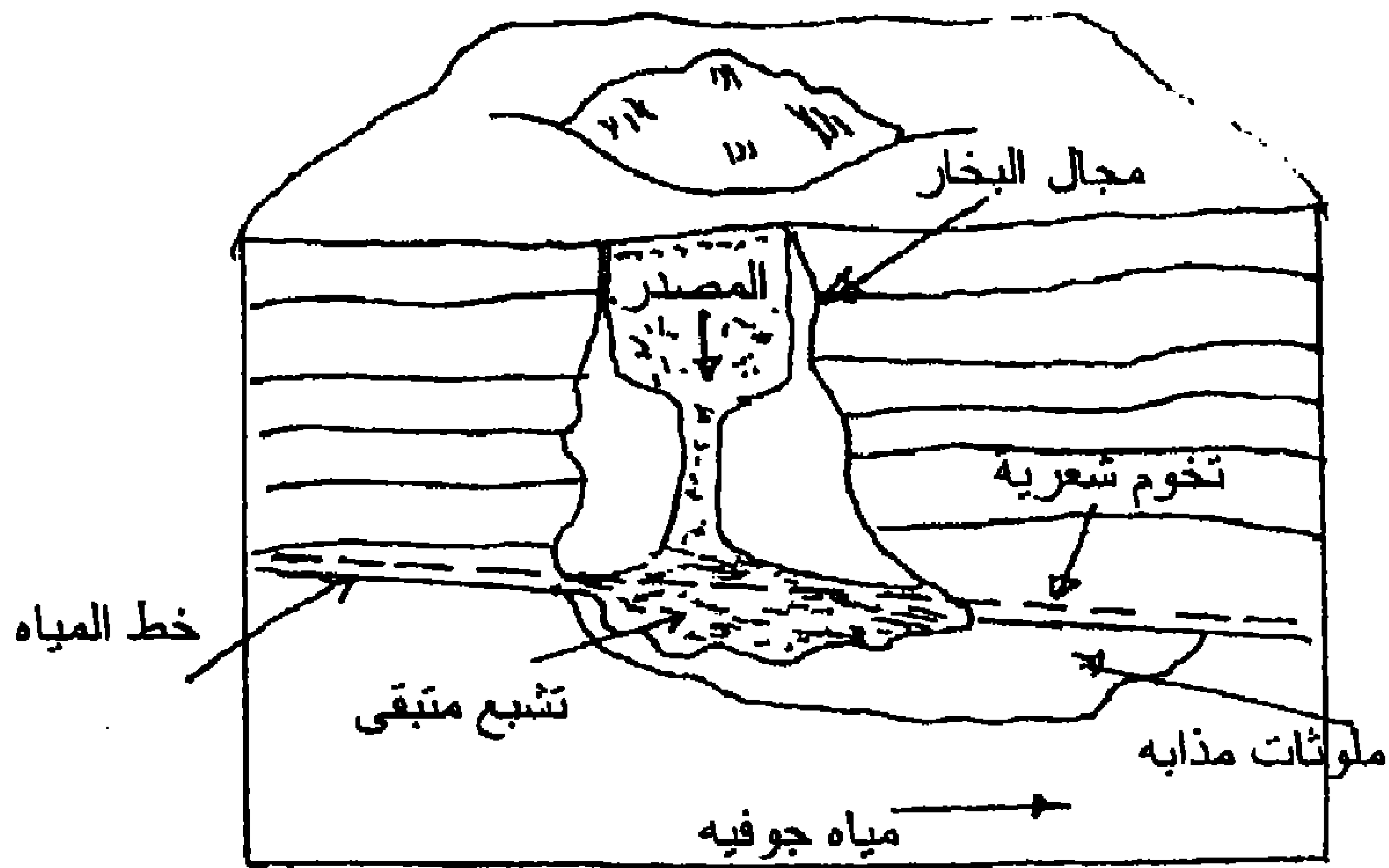
شكل (٥/١٥) حائط حجز الردغة يمكن استخدامه لمنع انتشار المياه الجوفية الملوثة نحو موقع الردم للمخلفات الخطرة مهجور.

حائط الحجز لخندق الردغة يمكن حفره من سطح الأرض بدون تحرك أو إرباك مادة المخلفات. الخنادق ذات العرض التقريبي واحد متر وعمق حوالى ٣٠ متراً يمكن حفرها بدون انهيار وذلك بملئها مؤقتا بردغة طفلة البنتونيت. الردغة، الكثيفة (خليط من الطفل والماء) تحافظ على ثبات الخندق أثناء الحفر لحين إعادة ملئه بالمادة التى تكون الحاجز الرأسي. مادة الملء يمكن أن تكون خليط من التربة والأسمنت أو من التربة والطفلة، حيث يجب الخلط جيداً لتصل النفاذية إلى ١٠-٨ مليمتر فى الثانية أو أقل لإيقاف سريان الماء. فى بعض الحالات يمكن عمل حائط فى خندقين، أو حائط فى خندق مجهز بطبقة بطانة من مادة مخلقة وذلك لزيادة تأكيد عدم حركة المادة أو السائل داخل أو خارج المكان.

الإصلاح البيولوجى فى الموقع : (In situ Bioremedation)

العلاج البيولوجي هو تقنية تستخدم فى نظافة التربة الملوثة أو المياه الجوفية فى أماكن المخلفات الخطرة. وهذه تعتمد على الأداء البيولوجى فى تحويل الملوثات إلى مواد غير ضارة. استخدام الكائنات الدقيقة للأغراض البيئية ليس بجديد، فقد استخدمت لعقود كثيرة فى المعالجة الثنائية لمياه الصرف الصحى. ولكن كيف يتم استخدام المعالجة البيولوجية فى الموقع، حيث مناطق الردم للمخلفات الصناعية الخطرة القديمة.

فى التربة فوق خط المياه الجوفية، يمكن وجود التلوث فى أربع مجالات. يمكن أن يكون فى حالة البخار خلال الفراغات المسامية، وفى مجال الادمصاص ملتصقا بحبيبات التربة، والمجال السائل مذابا فى الماء، وفى الحالة السائلة فى شكل مجال سائل غير مائى. أسفل خط المياه الاستاتيكى يمكن أن توجد الملوثات فى كل هذه المجالات عدا الحالة البخارية. ملوثات معينة مثل مشتقات البترول من الهيدروكربونات (مثل الجازولين ..الخ) تكون ذات كثافة أقل من كثافة الماء وتسمى سوائل خفيفة ذات مجال غير مائى. وهذه تميل إلى الطفو على سطح خط المياه الاستاتيكى وتنتشر عرضياً كما هو موضح فى الشكل (٥/١٦).



شكل (٥/١٦) التوزيع أسفل الأرض للسوائل الخفيفة الغير مائية.

ملوثات أخرى منها الهيدروكربونات المكلورة (مثل رابع كلوريد الكربون والتراى كلورو إيثان)، تكون أكثر كثافة عن الماء وهى تسمى سوائل المجال الكثيف الغير مائى. هذه المواد تميل إلى الحركة إلى أسفل وأحيانا بعمق حتى المياه الجوفية. الهيدروكربونات المكلورة تستخدم على نطاق واسع كمذيب صناعى لإزالة الشحوم. وعادة ما يتم التخلص منها عشوائياً فى مواقع التخلص (Refuse sites)، البرك، فى براميل حفظ، المذيبات المكلورة كمجموعة هى من أكثر أنوع الملوثات للمياه الجوفية، فهذه لا تتحلل بيولوجياً بسرعة مثل المنتجات البترولية.

العلاج البيولوجى للأماكن الملوثة بهيدروكربونات البترول يعتمد عادة على البكتريا الموجودة فى التربة. إضافة خليط مناسب من البكتريا للبدء السريع فى العملية يمكن أن يقلل من زمن المعالجة. فى حالة عدم وجود الأكسجين ومواد الغذاء (النتروجين والفوسفور) بكميات كافية يمكن كذلك إضافة واحد أو أكثر من هذه العناصر.

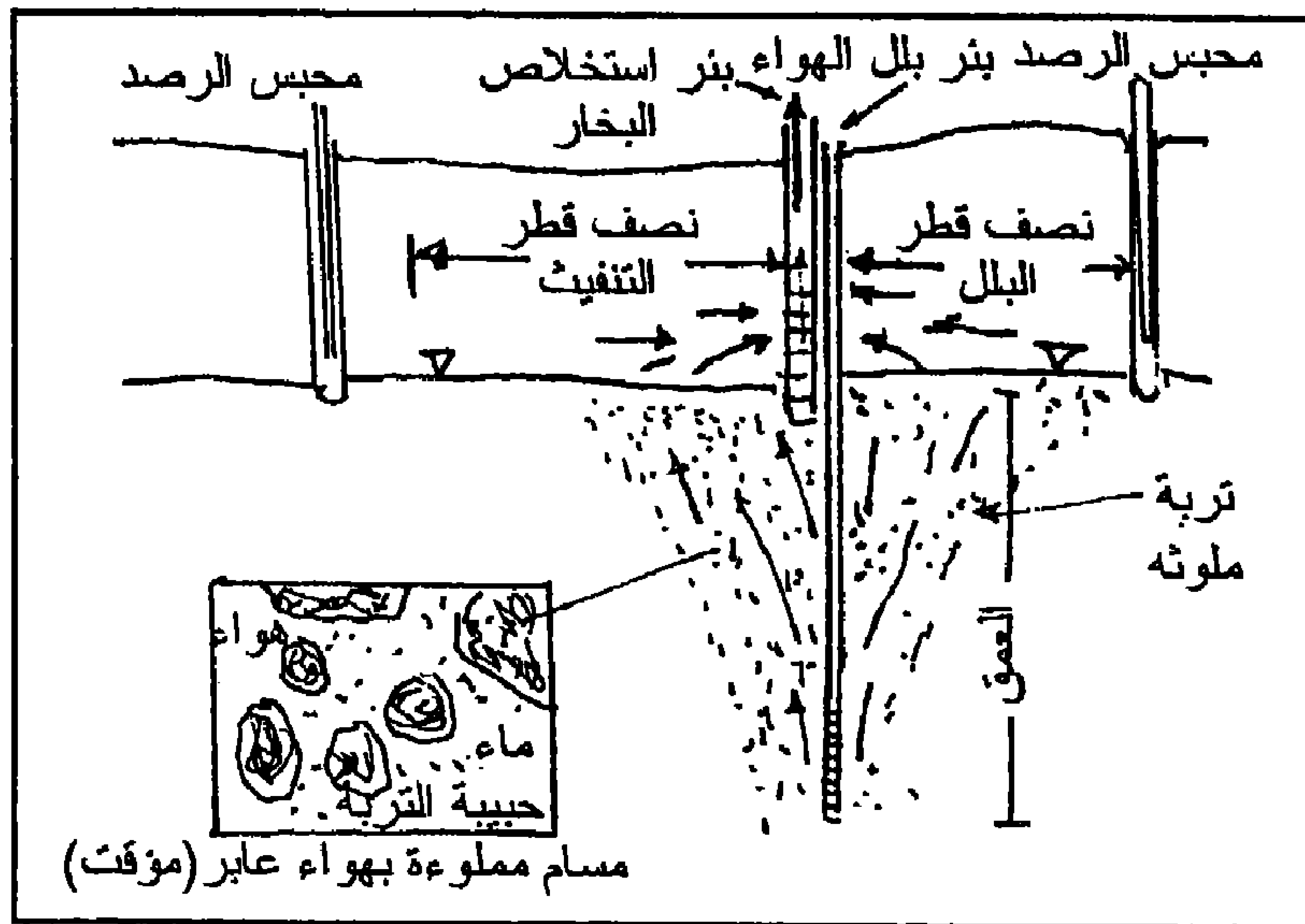
نظم معالجة المياه الجوفية تشمل آبار السحب، آبار الرصد، آبار الشحن الجوفى. المياه الجوفية التى يتم ضخها يتم معالجتها قبل إضافة مواد الغذاء والأكسجين وإعادة الشحن الجوفى. المعالجة يمكن أن تشمل استخدام أبراج التجريد الهوائى (Air striping Towers) أو الكربون المنشط، أو وحدة فصل الزيت عن الماء، أو وحدة بيولوجية أو بعض أو كل هذه الطرق. يتم وضع الآبار بحيث تتدفق المياه الجوفية الغنية بالأكسجين

ومواد الغذاء نحو آبار السحب، وجزء بسيط من المياه التى تم سحبها يمكن إعادة شحنه، للسيطرة على معدل التدفق، ممر التدفق، يمكن صرف جزء على المياه السطحية.

التنفيث البيولوجي والبلل الهوائي : (Bioventing and Air sparging)

لتنشيط عملية التحلل البيولوجى الهوائى لملوثات الهيدروكربونات البترولية، يمكن حقن الهواء أسفل سطح الأرض. عند خفض الهواء خلال المسام فوق خط المياه فإن هذه العملية تسمى التنفيث البيولوجى، ولكن عند حقن الهواء أسفل خط المياه فإن هذه العملية تسمى البلل الهوائى، كما هو موضح فى الشكل (٥/١٧).

عملية البلل الهوائى هى طريقة مؤثرة فى معالجة الهيدروكربونات البترولية ذلك لأنها تساعد كذلك على الإزالة الطبيعية بالاستخلاص المباشر للكيماويات العضوية المتطايرة (VOC'S). يجب التحكم بحذر فى تدفق الهواء أثناء عملية البلل الهوائى لتجنب احتمال زيادة انتشار الملوثات. التدفق المنخفض جداً يمكن أن يقلل من كفاءة المعالجة، التدفق المرتفع جداً يمكن أن يسبب فقد السيطرة. لذلك فإن إنشاء نظام البلل الهوائى يجب أن يسبقه دائماً اختبارات معملية أو نصف صناعية (Pilot Test).



شكل (٥/١٧) البلل الهوائى

طرق المعالجة للمذيبات المكلورة :

المذيبات المكلورة يمكن تحويلها بيولوجيا بالكائنات الدقيقة وبذلك إصلاح التربة الملوثة. بالإضافة فإن التربة الملوثة بالمذيبات العضوية يمكن معالجتها بالحفر التفريغى

للتربة لإزالة الأبخرة المتطايرة، يمكن معالجة المياه الجوفية بالتجريد الهوائى. هذه هـــى عمليات معالجة طبيعية، الأبخرة يتم صرفها فى الجو أو معالجتها بالكربون المنــشط، أو بالحرق.

العلاج البيولوجي الطبيعي : (Natural Biodegradation)

الكائنات الموجودة فى الطبيعة يمكن أن تحلل الملوثات فى الأماكن تحــت الــسطح. ولكن هذا يحدث غالباً فى حالة توفر الأكسجين فى المنطقة فوق خط المياه ولكن يكون من الصعب المعالجة الطبيعية للملوثات أسفل خط المياه الجوفية بما يتطلب استخدام أى مــن الطرق السابقة.

الفصل السادس
تلوث الهواء

١- مقدمـــة :

إن الهواء ضرورى لكل صور الحياة على الأرض. فى المتوسط احتياجات الفرد من الهواء لا تقل عن ٣٠ رطلاً يومياً ليعيش، ولكنه يحتاج فقط لحوالى ٣ رطلاً من الماء و ١,٥ رطلاً من الغذاء. يمكن أن يعيش الفرد لمدة خمسة أسابيع بدون غذاء ولمدة خمـسة أيام بدون ماء ولكنه بدون هواء يستطيع العيش لمدة خمس دقائق فقط. طبيعى فإن كـل إنسان يجب أن يتنفس هواء نقى ونظيف. ولكن الغلاف الجـوى (Atmosphere) الغيـر مرئى الذى يحتوى أساساً غازات مختلفة يسمى الهواء (Air)، والذى يكون معرضاً للتلوث بفعل الأنشطة الآدمية كما يحدث فى حالة البيئات المائية والأرضية.

قد يبدو الغلاف الجوى من أول وهلة أنه بالحجم الكبير الذى يصعب على الأنشطة الآدميـة إحداث أى آثار عليه ذات صفة مستمرة. الأدخنة والغازات التى يتم صرفها فـى الهـواء يـتم تخفيفها مباشرة إلى تركيزات منخفضة جداً بالخلط والانتشار. يبدو وأنه من غيـر المحتمـل أن الأنشطة الأدمية يمكن أن تلوث كل الغلاف الجوى وأنه من غير المحتمـل أن هـذه الكميـات الصغيرة من الملوثات يمكن أن تحدث ضرراً بالصحة العامة أو حتى إحداث تغيـر فـى منـاخ الأرض. وإن كان هذا يبدو إلا أن معظم الناس يجب أن تكون معرفتهم أفضل.

الغلاف الجوى واسع ولكنه ليس لا نهائياً. فعند تصور الأرض فى حجم التفاحة فإن عمق الغلاف الجوى سيكون مكافئاً لسمك قشرة التفاحة فقط. لقد أظهرت الخبرة الشخصية عدم الارتياح عند الإحاطة بالأدخنة العادمة الناتجة عن محركات السيارات عند ازدحـام الطرق أو عند المرور على مصانع معينة. وذلك المنظر الغير سار والعـادى للـضباب الدخانى (Smog) والذى يكون معروفاً لمعظم سكان المدن الصناعية.

لقد أوضحت دراسات الصحة العامة أنه على المدى الطويل يكون المستوى الصحى للذين يعيشون أو يعملون فى المناطق الحضرية الصناعية أقل مقارنة عن هؤلاء الـذين يعيشون فى المناطق الريفية، حيث يكون تلوث الهواء أقل حدة بدرجة كبيرة. توجد شواهد علمية كثيرة عن العلاقة الواضحة بين الهواء الملوث وارتفاع أمراض الجهاز التنفسى بما فيها سرطان الرئة.

التحكم فى تلوث الغلاف الجوى وكذلك السيطرة على نوعية الهواء هو من القضايا المعروفة ذات الدلالة فى مجالات تكنولوجيات هندسة الصحة العامة (Public Health Engineering) وكذلك تكنولوجيات الهندسة المدينة والبيئة.

الهدف من هذه الدراسة هو لإظهار بعض الحقائق والمبادئ المتعلقة بتلوث الهواء والسيطرة عليه. بعد استعراض مختصر لتاريخ تلوث الهواء، يتم مناقشة العوامل والقياسية، أنواع وتأثيرات ملوثات الهواء، وكذلك تغطية تلوث الهواء داخل المسكن التغير فى المناخ العالمى. كما سيتم مناقشة أخذ عينات الهواء، وتقنيات القياس، قوانين ونظم نوعية الهواء، وأخيراً استراتيجيات التحكم فى تلوث الهواء وكذلك المعدات لكل من المصادر الثابتة والمتحركة.

<u>٢- الخلفية التاريخية :</u>

يمكن أن يقال أن تلوث الهواء بفعل الأنشطة الآدمية يعود إلى اكتشاف النار أو اللهب، حتى فى يومنا هذا فإن معظم ملوثات الهواء تكون من عمليات الاحتراق من المصادر المتحركة أو الثابتة. فمنذ ٤٠٠٠ عام قبل الميلاد عند البدء فى طرق الذهب والنحاس وتزجيج الطفلة، حيث حدث تلوث الهواء فى المناطق القريبة من تلك الأنشطة. كما أن هناك قليل من الشك نحو استخدام الفحم كوقود، والذى بدأ حول عام ١٠٠ بعد الميلاد، والذى نتج عنه كميات كبيرة من تلوث الهواء. منذ القرن الرابع عشر منع الملك إدوارد الثانى حرق الفحم فى لندن عند انعقاد البرلمان وذلك بسبب ما ينتجه من دخان. وعند بداية القرن السابع عشر عند تحول الفحم إلى الكوك لاستخدامه فى صهر الحديد زاد تلوث الهواء كثيراً. وفى منتصف القرن السابع عشر حدث بها دخان كثيف مسبباً مشاكل حيث صدر كتاب متضمناً أفكار خفض تلوث الهواء بواسطة مجموعة خاصة كلفت بذلك تم رفعه إلى الملك شارل الثانى وإلى البرلمان. وفى أواخر القرن السابع عشر، واختراع الآلة البخارية وبدء الثورة الصناعية بدأ عهد جديد فى السيطرة على تلوث الهواء. وفى أوائل القرن العشرين بدء عهد جديد من التلوث الواضح للهواء عندما بدأ إستخدام السيارات التى تعمل بالجازولين (البنزين) والذى أصبح المصدر الرئيسى للتلوث. ولكن حتى منتصف القرن التاسع عشر لم تكن هناك أعمال ذات صفة الاستمرارية لحماية نوعية الهواء. أى أنه تم بعد ذلك تنشيط عملية المحافظة على تلوث

الهواء، ذلك بسبب تكرار الحالات المميتة بسبب تلوث الهواء، وخاصة تلك فى دونـــارا، بنسلفانيا، وأيضا فى لندن فى إنجلترا ووادى مويز (Meuse) فى بلغاريا.

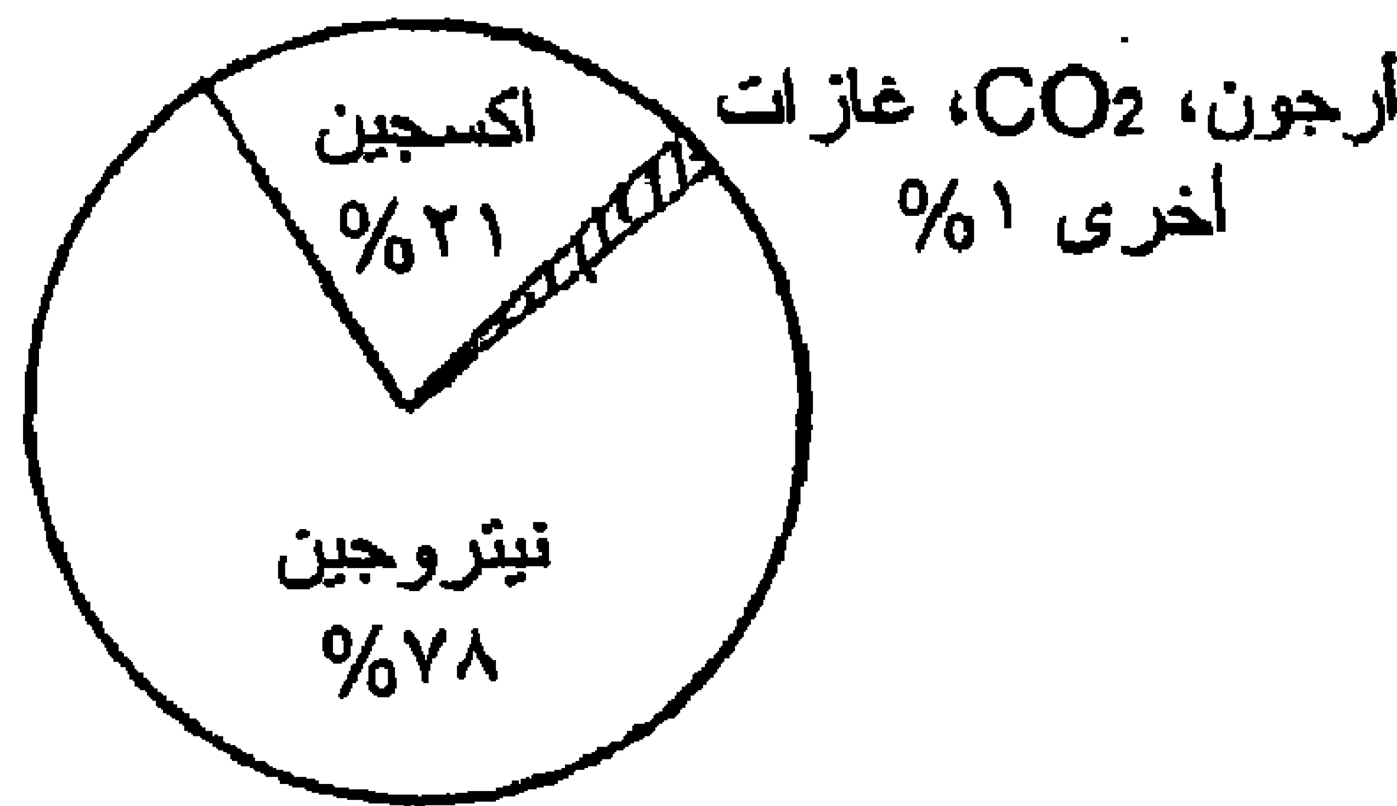
دونارا (Donara) هىمدينة صناعية صغيرة فى غرب بنسلفانيا حدث بها احتبـــاس حرارى (Temperature Inversion) فى نهاية عام ١٩٤٨. هذا الاحتباس حجز ملوثـــات الهواء والتى معظمها من مصنع الصلب، مصنع الأسلاك، مصنع الطلاء بالزنـــك، فـــى الوادى حيث تقع المدينة. تعلق ضباب كثيف محمل بالدخان (Smog) فى الهـــواء وظـــل هكذا لمدة حوالى أسبوع. مع الوقت انتشر هذا الضباب المحتوى علـــى الـــدخان حيـــث تأثيراته تسببت فى وفاة أكثر من ٢٠ شخص ومرض حوالى ٦٠٠ آخـــرين. نظـــراً لأن تعداد هذه المدينة فى ذلك الوقت كان صغيراً نسبياً (حوالى ١٤,٠٠٠ نسمة)، فإن معـــدل الوفيات كان الأعلى من بين ما تم حصره من حالات تلوث الهواء. حدثت وقائع أخـــرى فى لندن مشابهة فى عام ١٩٥٢. كذلك بسبب تقلب المناخ (Weather Inversion). حيث استمر الضباب المحمل بالدخان على مستوى سطح الأرض بشكل حاد لمدة زادت عـــن أسبوع، حيث انخفض مجال الرؤية لعدة أمتار قليلة. معدل الوفيات فى لندن زاد بنـــسبة ثلاث أضعاف أثناء هذا الأسبوع (حيث توفى أكثر من ٤٠٠٠ شخص، ولكن المعدل عاد إلى ما كان عليه عند انقضاء هذا الضباب المحمل بالدخان. حوادث دونارا وكذلك ضباب لندن الدخانى وحوادث أخرى ساعدت على تركيز انتباه الصحة العامة نحو تلوث الهواء، وطورت نظم استراتيجية أخرى وقوانين وتكنولوجيات مطلوبة لحل المشكلة.

٣- العوامل الجوية :

لتفهم الموضوعات المتعلقة بتأثيرات والسيطرة على تلوث الهواء، فإنـــه يلـــزم أولا معرفة شئ ما عن المكونات والسلوك الطبيعى للغلاف الجوى نفسه. ما هـــى مكونـــات الهواء النقى، وكيف أن حالات المناخ والرصد الجوى تؤثر على خلط وانتشار الملوثات؟. الأرصاد (Meteorology) هو علم التنبؤ بحالات المناخ والغلاف الجوى، متضمناً دراسة كلا من الإطار العام لدورة الغلاف الجوى ذات المستوى الكبير والصغير. أثناء بعـــض أنواع حالات الجو السيئ، فإن بعض أطر الدوران ذات القياس الصغير كانت عند احتباس الملوثات المنبعثة فى حجم محدد من الهواء. من الضرورى معرفة كيف تحدث حالة الجو هذه ومعرفة آثارها على متطلبات المحافظة على نظافة الهواء من التلوث.

أ- مكونات الغلاف الجوى : (Composition of the Atmosphere)

الغلاف الجوى هو خليط من غازات مختلف كثيرة، ولكن غالباً ما يتكون من النيتروجين والأكسجين الجزيئى (N_2 , O_2). حوالى ٧٨% من الهواء الجاف يكون من النيتروجين، حوالى ٢١% يكون من الأكسجين. هذه النسب هى بالنسبة للحجم. فمثلاً، فى وعاء يحتوى على ١ متر مكعب أو ١٠٠٠ لتر من الهواء (عند الضغط القياسى) يشمل ٧٨٠ لتر من النيتروجين، ٢١٠ لتر من الأكسجين. كلاً من النيتروجين والأكسجين معاً يشكلا ٩٩% من الغلاف الجوى ١% لباقى من الهواء النظيف هو خليط من غازات أخرى كثيرة. معظم ١% الباقى (حوالى ٠,٩%) هو غاز الأرجون (Argon) الخامل. الباقى يشمل ثانى أكسيد الكربون، الميثان، الهيدروجين، الهيليوم، النيون، الأوزون، وغازات أخرى بكميات صغيرة جداً. الشكل (٦/١) يوضح الكميات النسبية لغازات الغلاف الجوى. واضح أن الجو النقى هو طبيعى خليط من مواد كثيرة مختلفة.



شكل (٦/١)

الكميات النسبية أو تركيزات الغازات فى الهواء يمكن تقديرها بالجزء فى المليون وكذلك كنسبة مئوية. فمثلاً، نظراً لأن ١% = ١٠٠٠٠ جزء فى المليون، فإن مستوى الأكسجين فى الهواء ٢١% يمكن تقديره بـ ٢١٠٠٠ جزء فى المليون وعلى الجانب الآخر فإن تركيز ثانى أكسيد الكربون فى الجو ٠,٠٣٤% حيث يمكن تقديره بـ ٣٤٠ جزء فى المليون، وكذلك الأوزون الطبيعى يكون تركيزه منخفض حتى ٠,٠٢ جزء فى المليون.

كذلك فإن بخار الماء هو من المكونات الطبيعية فى الغلاف الجوى، ولكن كميته تختلف طبقاً للوقت وللمكان. المناخ المحلى عامل رئيسى فى التأثير على كمية بخار الماء أو الرطوبة فى الهواء. فى المناطق ذات الرطوبة العالية يمكن أن يكون محتوى الرطوبة مرتفعاً حتى ٥%. تؤثر الرطوبة على نوعية الهواء بطريقة مختلفة. فمثلاً، مع تكثيفه أو

تبخيره فإن الماء يطلق أو يمتص حرارة والتى تؤثر على ثبات الجو والإطار العام لدوران الهواء. كذلك فإنه عند تكثيف الرطوبة التى فى الجو فإنه يتكون الضباب؛ يحدث الضباب غالباً في المناطق الحضرية بسبب زيادة نسبة الجسيمات العالقة والتى تعمل كنويات لتكوين حبيبات الضباب. يساهم الضباب فى حالات تلوث خطيرة (فمثلاً، فى دونارا) نظراً لأن حبيبات الضباب تساعد فى تحويل ثانى أكسيد الكبريت إلى حامض الكبرتيك. كذلك فإن الضباب يحجز الطاقة الحرارية من الشمس ويطيل دورات الدوران للجو والتى تعمل على احتجاز الملوثات.

طبقات الغلاف الجوى : (Atmospheric Layers)

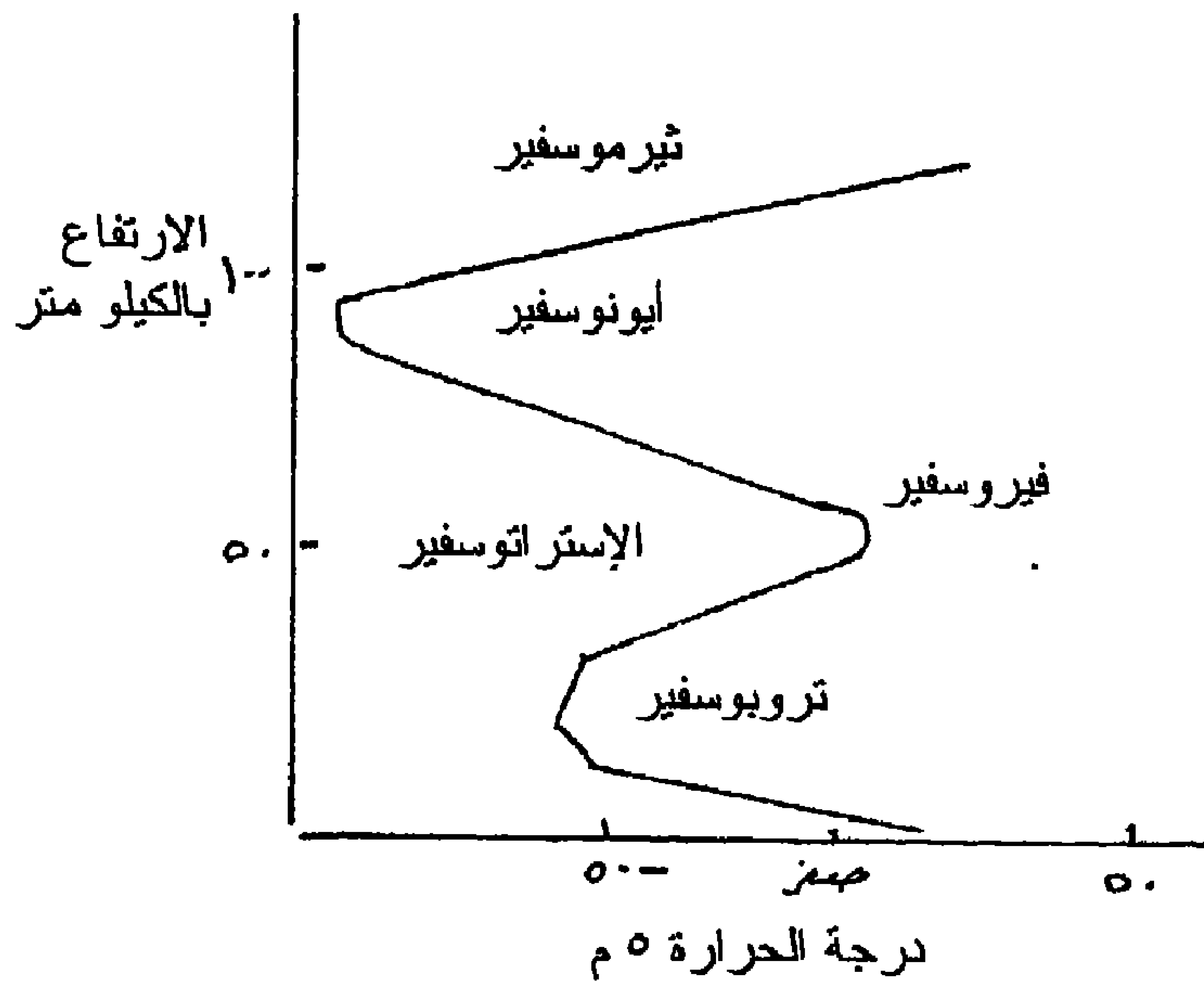
الغلاف الجوى يمتد إلى أعلى بحوالى ١٦٠ كيلو متراً (١٠٠ ميل) فوق سطح الأرض. ولكن خليط الغازات الذى يتم مناقشته يشير فقط إلى الغلاف الجوى السطحى التربوسفير (Troposphere) حيث تتناقص درجة الحرارة بالارتفاع وهو أقرب طبقة لسطح الأرض. التروبوسفير الذى هو بعمق حوالى ١٢ كيلو متراً (٨ ميل) يحتوى على حوالى ٩٥% من إجمالى كتلة الهواء. فى هذه الطبقة الرقيقة من الهواء يوجد الأكسجين الذى تعتمد عليه الحياة، وتتكون السحب، ويحدث الإطار العام للمناخ، وتحدث معظم حالات تلوث الهواء. تزداد كثافة الهواء بدرجة كبيرة على سطح الأرض، وأنه لهذا السبب تكون معظم كتلة الهواء فى الطبقة السفلية. قشرة التفاحة التى تم ذكرها تشير إلى هذه الطبقة التى تعين على الحياة، فوق التروبوسفير لا يوجد الأكسجين الكافى الذى يساعد على الحياة.

طبقة الهواء فوق التروبوسفير تسمى الاستراتوسفير (Stratosphere) وهى طبقة الجو على ارتفاع بين ١٥ كيلو متراً و ٦٠ كيلو متراً فوق الغلاف السفلى التروبوسفير وأسفل الغلاف الأوسط الميزوسفير (Misosphere). وهذه طبقة ثابتة (بالنسبة لإطار دوران الهواء) وهى تمتد إلى متوسط ارتفاع ٥٠ كيلو متراً (٣٠ ميل) من سطح الأرض. وهى أكثر عمقاً من التروبوسفير، الاستراتوسفير تحتوى فقط على جزء صغير من إجمالى كتلة الهواء، ذلك بسبب انخفاض كثافة هوائها. ولكنها تحتوى على كثير من الأوزون الطبيعى (O_3) أكثر من التروبوسفير.

كما سيتم مناقشته فيما بعد فإن منطقة الاستراتوسفير هذه تلعب دوراً حاسماً كحاجز لإشعاعات الشمس الفوق بنفسجية الضارة. طبقات الغلاف الجوى الموجودة فوق

الاستراتوسـفير تـشمل الميزوسـفير والأيونوسـفير (Mesosphere , Ionosphere)، الثيرموسفير (thermosphere). تلك الأجزاء من الغلاف الجوى لا تتأثر بتلوث الهواء.

الخواص الطبيعية الأساسية للتمييز بين أحد طبقات الغلاف الجوى والتى تليهـا هـو التدرج فى درجة الحرارة، أى، التغير التدريجى فى درجة الهواء مع الارتفـاع. فمـثلا، تنخفض درجة حرارة الهواء مع زيادة الارتفاع فى التروبوسفير، ولكنهـا تـزداد مـع الارتفاع فى الاستراتوسفير وهذا موضح فى الشكل (٦/٢). التغيرات الطبيعية التى تحدث فى التدرج فى درجات الحرارة للتروبوسفير تسبب نماذج معينة للجو ذات التأثير المباشر على نوعية الهواء.



شكل (٦/٢) فى الغلاف الجوى، تنخفض درجة الحرارة طبيعياً مع زيادة المسافة من سطح الأرض فى الاستراتوسفير تزداد درجة الحرارة مع زيادة المسافة أو الارتفاع.

تأثيرات المناخ : (Effects of Weather)

نوعية الهواء فى مكان ما يمكن أن تتغير كثيراً مع الوقت، ولكن رغم هذا فإن معدل انبعاث الملوثات يظل ثابتا نسبيا. ذلك لأن ملوثات الهواء تختلط وتنتشر ويتم تخفيفها فى التروبوسفير بحركة الكتل الهوائية، سواء الأفقية أو الرأسية. تحركات الهـواء وبالتـالى نوعية الهواء تعتمد إلى حد كبير على حالات الجو المحلية والإقليمية. المعلومـات عـن أنماط الدوران الأفقى والرأسى له أهمية بالنسبة للأعمال المساحية الخاصة بتلوث الهواء،

اختيار مكان مصانع جديدة، تعيين أقصى معدلات مسموح بها للانبعاثات الملوثة للهـواء وتصميم كل المداخن.

التشتت الأفقي للملوثات :

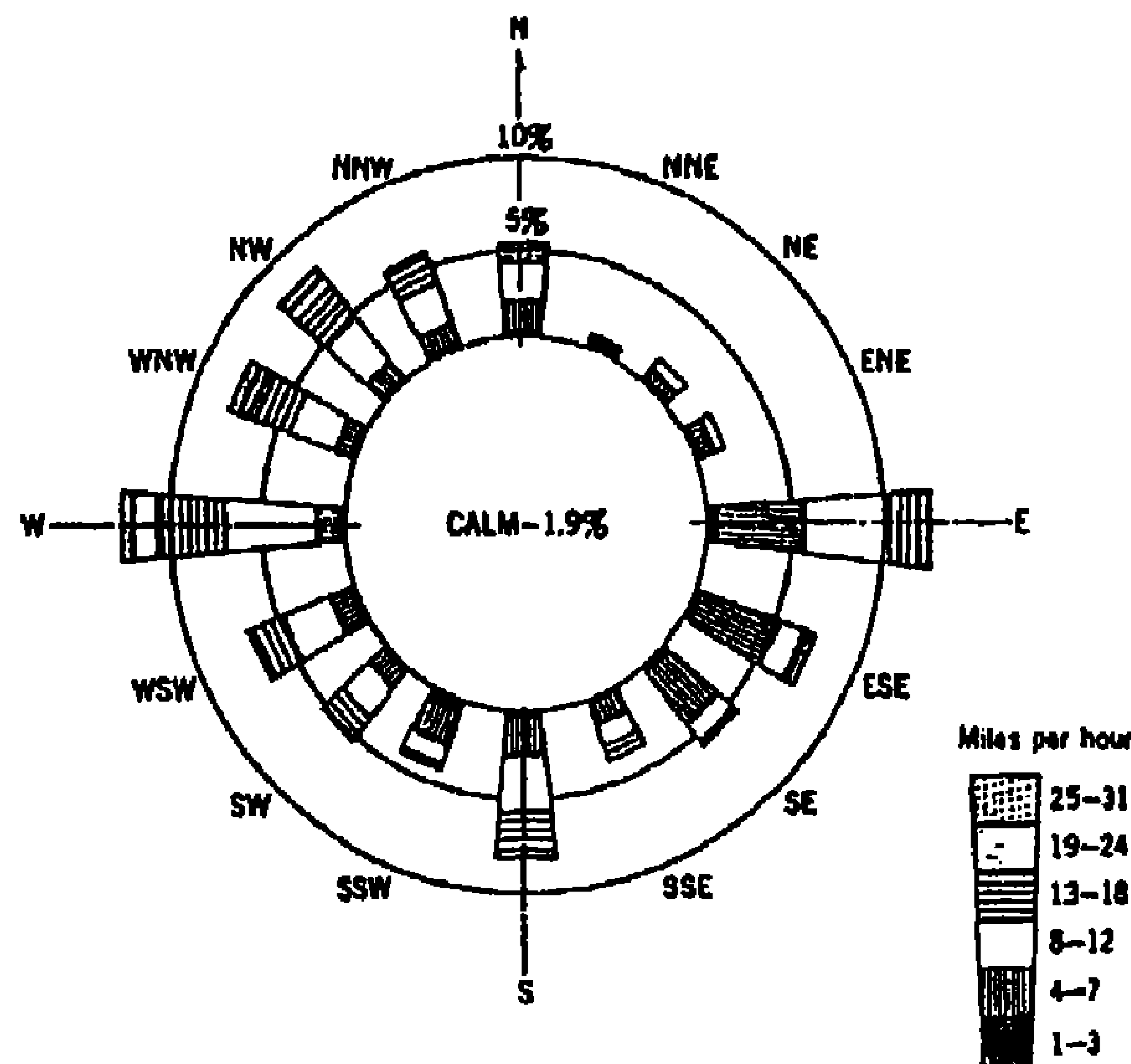
التشتت الأفقى أو الانتشار لملوثات الهواء يعتمد على سرعة الريح واتجاهـه. يقـل تركيز ملوثات الهواء مع زيادة سرعة الريح ذلك لأنه مع انبعاث الملوثات من المـصدر فإنها تنفصل وتنتشر بسرعة بواسطة حركة الهواء السريع. المعلومات عن سرعة واتجاه الريح السائد فى أماكن معينة تمكن من اختيار أماكن المصانع أو محطات الطاقة وذلـك لخفض تأثيرات تلوث الهواء. تعيين مكان تلك الأنشطة تحت الـريح للمنـاطق الأهلـة بالسكان يكون مفضلاً عن المكان فوق الريح. بيانات سرعة الريح التى يتم توقيعها على مخطط المسمى قرص الريح (Wind Rose)، يعطى صورة عن السرعة والاتجاه من حيث يمكن أن يأتى الريح، المخطط يوفر معلومات عن الرياح السائدة. نموذج لقرص الـريح موضح فى الشكل (٦/٣).

تحدث الرياح بسبب التأثيرات المشتركة للتدرجات فـى درجـة الحـرارة ودوران الأرض. الهواء الساخن القريب من مدار السرطان (Equator) يرتفـع ويتحـرك نحـو القطبين بينما الاحتكاك والقوى الناتجة عن دوران الأرض تعكس حركـة الهـواء، فـى الاتجاه الشرقي فى نصف الكرة الشمالي وفى الاتجاه الغربى فى نصف الكرة الجنـوبى. العوامل الهامة ذات التأثير على شكل الدوران تشمل الطبوغرافيـه، التغيـرات اليوميـة والموسمية فى سخونة السطح، القرب من المسطحات الكبيرة المائية ومن الجبال، والغطاء من السحب. نظراً لأن التربة والصخور معدل تسخينها وبرودتها أسرع من الماء، فـإن الرياح القريبة من خطوط الساحل تتجه نحو الماء عند الليل وعند اليابسة أثناء النهار. فى المناطق الحضرية حيث الصلب، الخرسانى، الحرارية تمتص وتحتفظ بالحرارة، تحتضن المدينة جزيرة حرارة (Heat Island) أثناء الليل، مع الدوران المحتجز حيـث لا يمكـن هروب الملوثات منه بسرعة.

التشتت الرأسي للملوثات :

بالإضافة إلى نظم الرياح والتشتت الأفقى فإن الحركة الرأسية للهـواء هامـة جـداً بالنسبة لنوعية الهواء. الخلط الرأسى للهواء وتشتت الملوثات يعتمد على نـوع الثبـات الجوى السائد فى أى وقت محدد. يعتبر الجو ثابتا عندما تكون حركـة الكتـل الهوائيـة الرأسية قليلة أولا تحدث ولذلك فإن الخلط والتشتت للملوثات فى الاتجاه الرأسـى يكـون

قليلا أو لا يحدث. ملوثات الهواء تميل إلى التراكم قريبا من سطح الأرض تحت ظروف الثبات وقد تحدث ظروف تلوث حادة. على الجانب الآخر فإن الجو الغير مستقر هو الهواء الذى يتحرك بشكل طبيعى فى الاتجاه الرأسى، بما يزيد الخلط والتشتت للملوثات. بالنسبة لنوعية الهواء المحلية أو الإقليمية فإن ظروف عدم الاستقرار الجوى تكون مفضلة عن حالة الاستقرار الجوى.



شكل (٦/٣) مثال لقرص الريح

أوضاع الأسهم توضح اتجاه الريح، إجمالى الطول يوضح نسبة الوقت، لفترة عمل التقرير، حيث كان الريح يهب من ذلك الاتجاه. القطاعات المهشرة توضح نسبة الوقت حيث كان الريح يهب عند السرعة الموضحة.

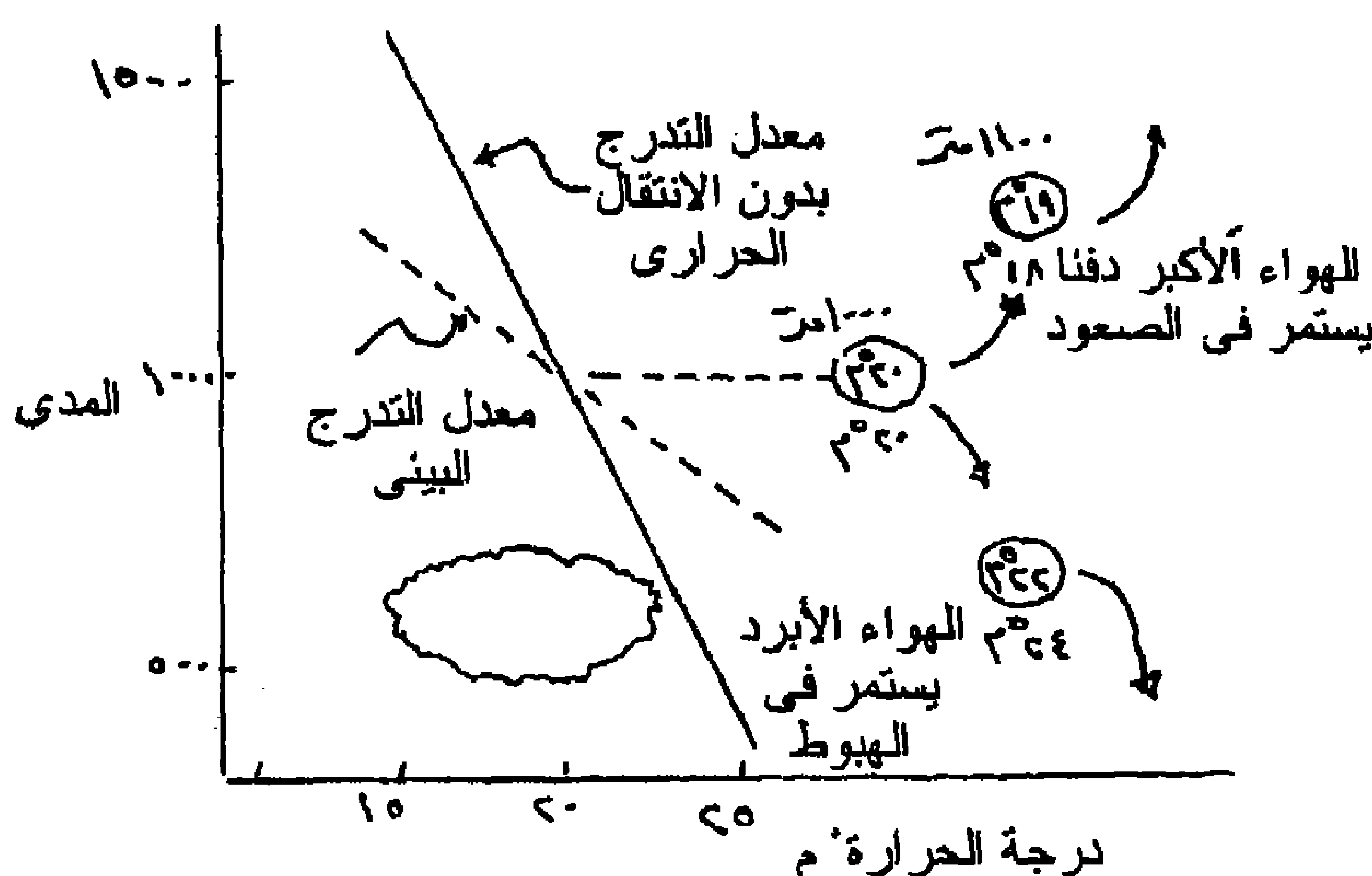
الاستقرار الجوى يتوقف على معدل التغير فى درجة حرارة الهواء مع الارتفاع أى على التدرج فى درجة الحرارة والتى يمكن أن تسود فى توقيت معين ومكان معين. طبيعى، فإن درجة حرارة الهواء فى التروبوسفير تنخفض مع زيادة الارتفاع شكل (٦/٢). ولكن معدل الانخفاض فى درجة حرارة الهواء والذى يسمى معدل التدرج البيئى Environmental Lapserate، له أهمية حاسمة بالنسبة للاستقرار الجوى. لتفهم العلاقة بين معدلات التدرج (الانخفاض)، الاستقرار، الخلط الرأسى فإنه يلزم مناقشته باختصار عن طبيعة الجو.

يقل الضغط الجوى مع زيادة الارتفاع فوق سطح الأرض. مع ارتفاع حجم أو كتلة من الهواء، فإنها تمتدد وتبرد، شريطة عدم إضافة أو سلب طاقة حرارية. العملية الطبيعية التى لا يحدث فيها انتقال حرارى تسمى عملية ثابتة الحرارة أى التى تتم بدون اكتساب للحرارة أو خروج للحرارة (Adiabatic Process). نظراً لأن كتلة الهواء التى ليست على اتصال مباشر مع الأرض تكون معزولة جيداً عما يحيط بها، فإنه يمكن افتراض أن التمدد الذى يحدث طبيعيا (أو الانضغاط) للكتل الهوائية مع حركتها إلى أعلى أنه بدون فقد أو اكتساب حرارة.

باستخدام القانون الأولى للديناميكا الحرارية فإنه يمكن حساب المعدل النظرى للحيود الجاف فى عملية الثبات الحرارى (Dry adiabatic lapse rate) ليكون ١°م لكل ١٠٠ متر (٥,٤°فهرنهايت لكل ١٠٠٠ قدم). هذا التدرج الحرارى يكون مستقلاً عن الحيود السائد فى درجة حرارة الجو فى أى وقت. بمعنى آخر، بصرف النظر عن درجة حرارة الجو الحقيقية، فإن الكتلة الهوائية المتحركة سوف تبرد باستمرار درجة مئوية واحدة (١°م) مع كل ١٠٠ متر ارتفاع فى الجو وسوف تسخن بدرجة حرارة مئوية واحدة مع كل هبوط قيمته ١٠٠ متر. (معدل التغير الجاف فى الثبات الحرارى يتم حسابه على أساس فرضية عدم وجود بخار ماء فى الجو. الماء يكون موجودا فى الجو إلى حد ما، حيث يمتص أو يبعث بالحرارة مع التبخر أو التكثيف. مع ارتفاع الهواء، يحدث تكثف، بما ينتج عنه معدل تبريد أبطأ (تدرج حرارى أقل) عن حالة الهواء الجاف. متوسط معدل الحيود الرطب للثبات الحرارى هو حوالى ٣,٥°فهرنهيت لكل ١٠٠٠ قدم). معدل الحيود فى الثبات الحرارى عادة يختلف عن معدل الحيود البيئى (Environmental Lapserate) بسبب عوامل مثل الظواهر الجغرافية، الريح، ضوء الشمس.

عندما يزيد معدل الحيود البيئى عن معدل حيود الثبات الحرارى، فإن درجة حرارة الهواء الحقيقية تنخفض بأكثر من ١°م لكل ١٠٠ متر. يكون الجو غير مستقر عند حدوث ذلك، ويحدث خلط رأسى للكتل الهوائية. ذلك لأن الحركة الراسية للكتلة الهوائية ستبرد (بدون فقد أو اكتساب حرارة Adiabatically) بمعدل أبطأ عن الهواء المحيط بها. نظراً لأن كتلة الهواء تصبح عندئذ أكثر دفئاً (وأخف) عما يحيطها، فإنها تستمر فى الصعود لأعلى بقوة الطفو. على العكس، الكتلة الهوائية التى تتحرك لأسفل سوف تصبح أكثر برودة (وأكثر كثافة) عما يحيط بها وسوف تستمر فى الهبوط بفعل تأثير الجاذبية.

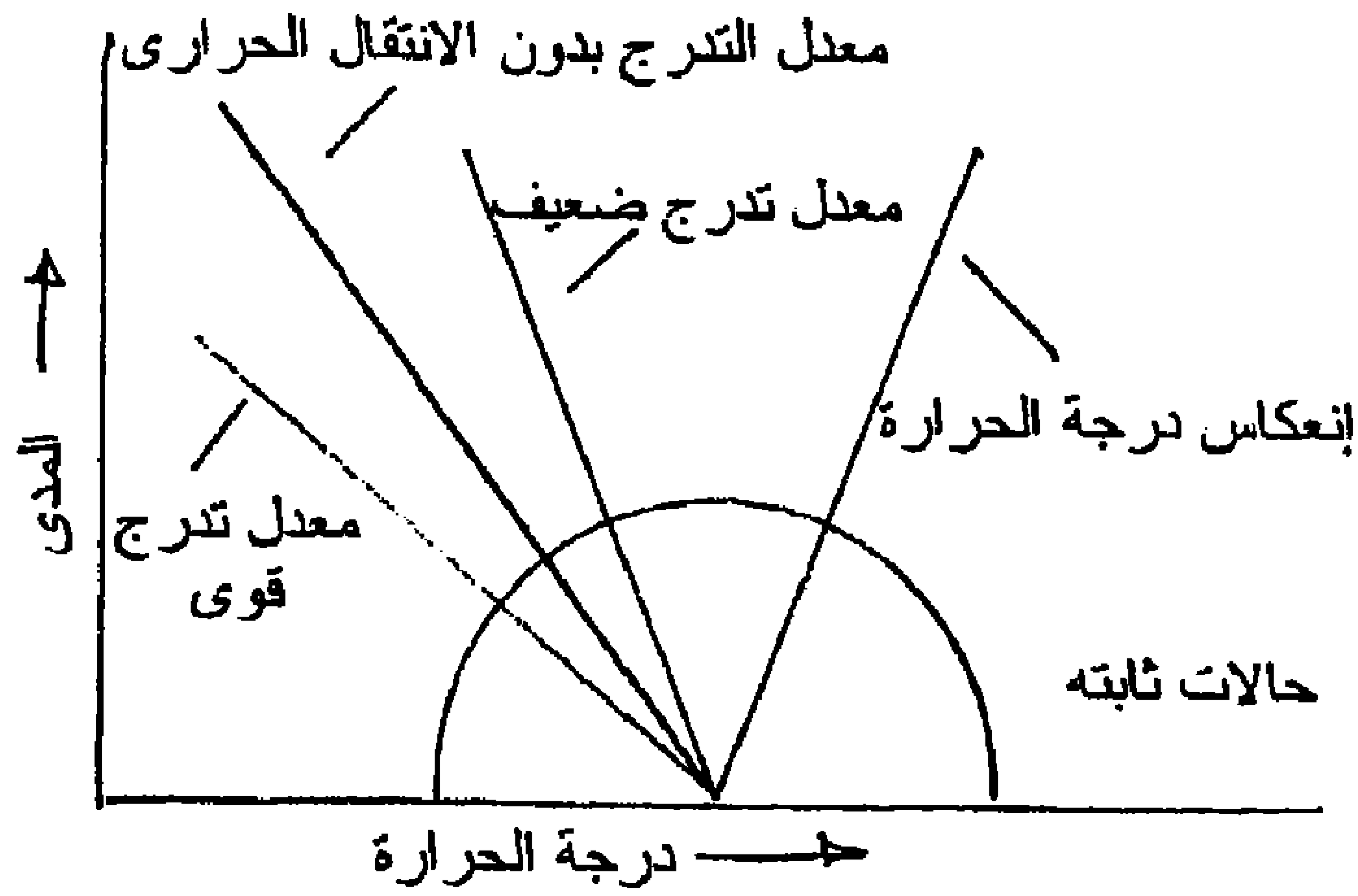
فمثلاً، كتلة هوائية على ارتفاع ١٠٠٠ متر. سيكون لها نفس الضغط ودرجة الحرارة مثل الهواء المحيط بها، مثلاً ٢٠°م. بفرض أن معدل الحيود البيئى فى وقت ما هـو ٢°م لكل ١٠٠ متر. إذا ارتفعت الكتلة إلى ارتفاع ١١٠٠ متر، فإن درجة حرارتهـا سـوف تنخفض إلى ١٩°م، بينما الهواء المحيط ستكون درجة حرارته ١٨°م. نظراً لأن الكتلـة أدفأ عن الهواء المحيط بها، فإنها سوف تستمر فى الصعود، كما لو كانت بـالون هـواء ساخن. هذا موضح فى الشكل (٦/٤). إذا تحركت الكتلة إلى ارتفاع مـنخفض بفـرض ٨٠٠ متر، فإن درجة حرارتها سوف تصبح ٢٢°م بينما درجة حرارة الهواء المحيط بها تكون ٢٤°م، وكتلة الهواء الأبرد (والأكثر كثافة) سوف تستمر فى الهبوط.



شكل (٦/٤) توضيح لحالات عدم الاستقرار الجوى، عندما يكون معدل التدرج البيئى (مثلاً ٢°م لكل ١٠٠ متر) يزيد عن معدل التدرج بدون التبادل الحرارى. فى هذه الحالة، فإن قوى الطفو تحافظ على تحرك الحزمة الهوائية فى الاتجاه الراسى.

معدلات الحيود البيئى تقسم لتكـون إمـا قويـة أو ضـعيفة (Superadiabatic or Subadiabatic) كما هو موضح فى الشكل (٦/٥). معدل الحيود القوى يصاحبه جو غير مستقر، بينما معدل الحيود الضعيف يصاحبه جو مستقر. معدل الحيود الذى يتصف بزيادة فى درجة حرارة الهواء الحقيقية مع زيادة الارتفاع يسمى الانعكاس أو الانقلاب فى درجة الحرارة (Temperature Inversion) وينتج عنه جو غير مستقر بشدة. الانقلاب الحرارى الذى يمنع الخلط الرأسى والتشتت للملوثات، هو عادة السبب الرئيـسى لحـالات تلـوث الهواء، مثل تلك فى لندن وفى دونارا. فى المناطق الحضرية فإن نوعية الهـواء سـوف

تنخفض بسرعة بسبب الركود الناتج عن الإنقلاب، لحين تغير حالات المناخ وعودة معدل الحيود.



شكل (٦/٥) درجة الحرارة التى تفصل الحالات المناخية الثابتة من الحالات الغير ثابتة هى معدل التدرج بدون الانتقال الحرارى. الهواء شديد الثبات أثناء التحول،

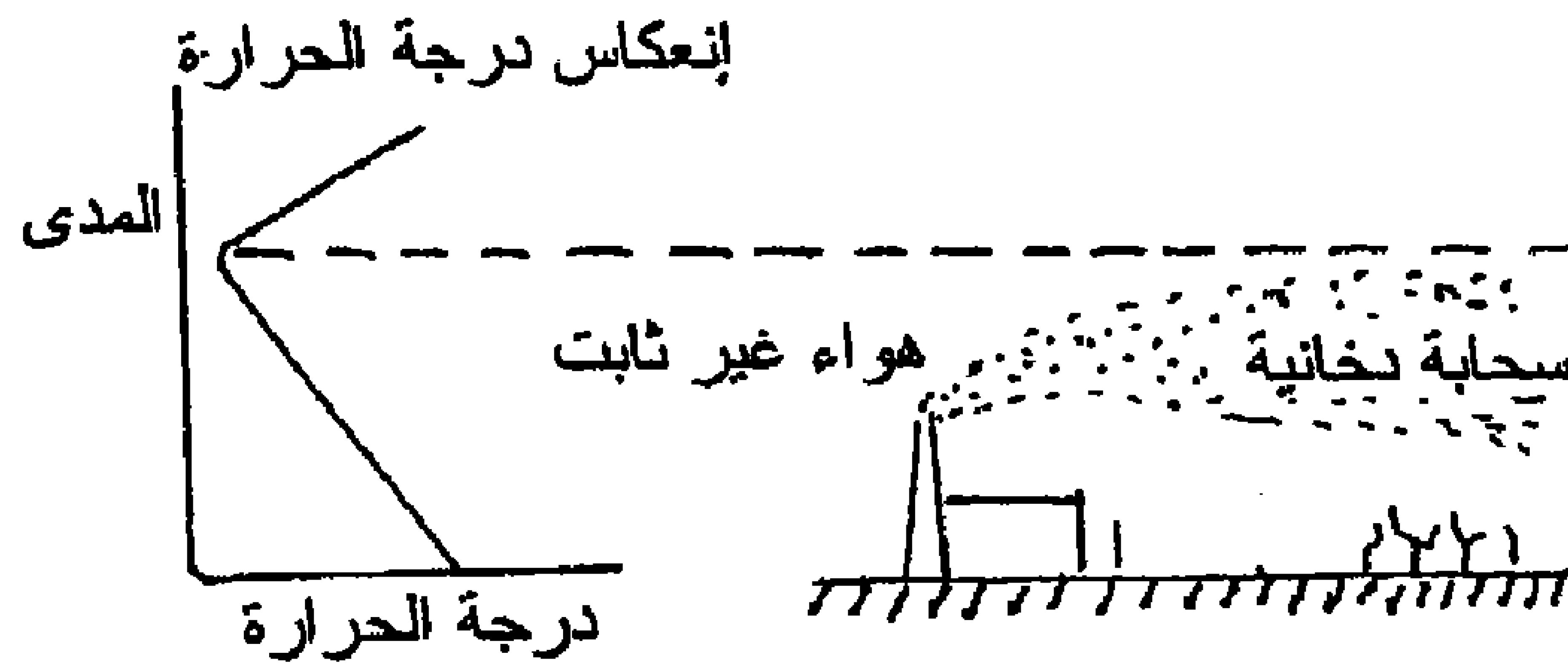
عند زيادة درجة الحرارة مع الارتفاع فوق الأرض أو المدى

القوى (Super adiabatic)

الانقلاب الحرارى يمكن أن يكون بسبب عديد من حالات الظواهر والحالات الجوية كما يمكن أن يحدث عند أى مكان، ولكن حالات جغرافية معينة يمكن أن تزيد معدل الحدوث وفترة الاستمرار. يمكن أن يكون الانقلاب حادا بالتحديد كما فى حالة المجتمع الذى يعيش فى الوادى، الذى يعمل كحوض حجز أو هبوط للكتل الهوائية الأكثر برودة وأكثر كثافة القريبة من الأرض. الجبال المحيطة بالوادى تعمل على إعاقة كثير من حركة الهواء الأفقية، بما يضيف إلى مشكلة الركود.

ثلاثة أنواع من الانقلاب الحرارى كل منهما يصاحبه نموذج معين من المناخ. وهى الانقلابات الأمامية (Frontal Inversions)، الانقلابات الهابطة (Subsidence Inversions) والانقلابات الإشعاعية (Radiation Inversion). الانقلابات الأمامية تحدث عموماً عند ارتفاع عالى نسبياً عندما تسبق كتلة الهواء الساخن كتلة الهواء البارد، ذلك ليس له أهمية بالنسبة لنوعية الهواء تحديداً. الانقلابات الهابطة ذات أهمية كبيرة. رغم أنها تحدث كذلك عند ارتفاع عالى نسبيا، فإن الانقلابات الهابطة يمكن أن تقاوم لعدة أيام أو أسابيع وخاصة فى أشهر الصيف. هذا الانقلاب كما يظهر من اسمه، عندما تهبط كتلة

كبيرة من الهواء الدافئ على تجمع سكانى. الانقلاب الحقيقى قد يحدث عند ارتفع حوالى ٣٠٠ متر، كمثال، حيث يكون معدل الحيود أسفلها يكون عالى الثبات الحرارى (Superadiabatic). هذا النوع من الانقلاب أو الانعكاس فى درجة الحرارة يكون الغطاء الذى يحتجز الملوثات ومنع حدوث الخلط الرأسى كماهو موضح فى الشكل (٦/٦). السحابة من الدخان سيتم توقفها عن الصعود فجأة عند وصولها إلى ارتفاع الانقلاب الحرارى. إذا كان معدل الحيود المحلى أسفل الانقلاب عالى الثبات الحرارى، فإنه يمكن أن تحدث حالة الدخان قريباً من مستوى الأرض بسبب تأثيرات الخلط القوى ينتج الدخان فى شكل تلوث شديد التركيز على مستوى الأرض.



شكل (٦/٦) عند بدء التحول الحرارى فوق الأرض بسبب الظروف المناخية المحلية، فإنه يعمل كغطاء الذى يمنع الخلط العمودى ويحتجز الملوثات أسفله

الانقلابات الإشعاعية تحدث عند ارتفاع منخفض وتكون بسبب سرعة البرودة للأرض بسبب الإشعاع، غالباً فى ليالى الشتاء الصافية. درجة حرارة الهواء الملتصق بالأرض تنخفض كذلك مسببة الانقلاب. ملوثات الهواء المنبعثة أثناء الليل يتم احتجازها ولا تستطيع الانتشار لحين اليوم التالى فيما بعد، وذلك عندما تصبح الأرض دافئة بما يكفى لكسر هذا الانقلاب. حالة السحابة الدخانية عادية أثناء الانقلاب الإشعاعى، لحسن الحظ هذه الانقلابات لا تستمر طويلاً، رغم أنها متكررة الحدوث.

٣- الأنواع، المصادر، والتأثيرات :

تلوث الهواء يمكن تعريفه ببساطة بوجود مواد معينة فى الهواء بالتركيز العالى ولمدة طويلة بما يسبب تأثيرات مزعجة. مواد معينة قد تكون أى غاز، سائل، أو صلبة، رغم أن مواد معينة تحديداً تعتبر ملوثات رئيسية بسبب المعدل العالى للإنبعاثات أو بسبب التأثيرات الضارة والغير مرغوب فيها. المدة الطويلة الكافية للاستمرار يمكن أن تكون

فى أى مكان لعدة ساعات أو أيام أو أسابيع، على المستوى العالمى (Global Scale)، يكون المرتبط به هو الاستمرار لشهور أو لسنين. قبل اعتبار هذه المواد مكونات رئيسية، من المفيد أولاً اعتبار بعض الفروق بين الأنواع المختلفة لملوثات الهواء.

التعريف الضمنى هو أن تلوث الهواء يكون بفعل الإنسان، أى بسبب نشاطات الإنسان. ولكن تلوث الهواء قد يكون نتيجة أسباب طبيعية. فى الواقع، فى وقت معين يمكن أن يكون التلوث من المصادر الطبيعية أكثر حدة ولمدة أطول عن تلوث الهواء بفعل الأنشطة الآدمية. فمثلاً، الانفجار البركانى فى عام ١٩٩١ فى الفلبين نتج عنه كميات كبيرة من الغبار ومن الغازات فى الجو فى فترة زمنية قصيرة نسبياً. الملوثات من هذا الانفجار البركانى وصلت إلى الغلاف الجوى العلوى حيث عملت كعاكس لضوء الشمس، بما نتج عنه خفض فى درجة حرارة الكرة الأرضية قليلاً لعدة سنوات قليلة. بالإضافة إلى الانبعاثات البركانية، فإن الملوثات الأخرى الطبيعية للهواء تشمل الأدخنة والغازات الناتجة عن حريق الغابات، الأتربة بفعل الرياح من الصحارى، رش الملح للمناطق القريبة من البحر، حبيبات اللقاح، ومواد طبيعية أخرى. من الواضح أنه من الصعب عمل شئ للحد من هذه المواد التى تحدث طبيعياً أو للسيطرة عليها، إلا أنه توجد أعمال معينة التى يمكن بها التخفيف من آثارها الضارة.

اختلافات أخرى عامة بين ملوثات الهواء تتضمن الفرق بين الملوثات الأولية والملوثات الثانئية. الملوثات الأولية هى التى تنبعث مباشرة نحو الهواء من مصدر معين مثل مدخنة محطة توليد الطاقة. الملوثات الثانئية هى التى لا تنبعث مباشرة نحو الجو ولكنها تتكون فى الجو بواسطة تفاعلات كيماوية معقدة بين الملوثات الأولية وضوء الشمس. مصدر ملوثات الهواء الأولية هو إما أن يكون متحرك (مثل السيارة) أو ثابت (مثل محطة توليد الطاقة بالفحم). الفرق بين المصادر المتحركة والثابتة للملوثات هام بسبب التقنيات المختلفة للمعالجة والحد من آثار كل نوع، وكذلك اختلاف أنواع الملوثات التى تنبعث منها.

تلوث الهواء يحدث داخل المبنى وكذلك خارج المبنى.

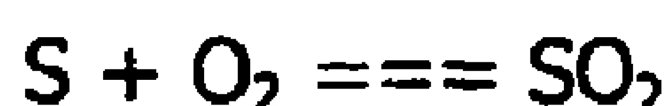
<u>معيار ملوثات الهواء : (Criteria Air Pollutants)</u>

الملوثات الخمسة الأولية تشمل الغازات (CO , Na_2 , SO_2) الجسيمات الصغيرة جداً الصلبة أو السائلة والتى تقل عن ١٠ مليميكرون (10mm) وجسيمات الرصاص. باستثناء الرصاص، فإن الملوثات الأولية تنبعث فى المدن الصناعية بمعدلات مرتفعة جداً، عادة

تقاس بملايين الأطنان فى كل عام. الأوزون (O_3) هو الملوث الثنائى. رغم أن الأوزون القريب من الأرض يعتبر ملوثاً ضاراً، ولكنه فى الغلاف الجوى يساعد فى حجز الإشعاعات الفوق بنفسجية الضارة. وسيتم مناقشة ذلك فيما بعد.

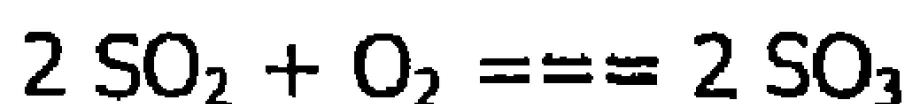
ثانى أكسيد الكبريت (SO_2) :

وقود حفرى معين وخاصة الفحم (Coal) قد يحتوى على عنصر الكبريت. عند حرق مثل هذا الوقود فإن الكبريت يحترق كذلك أو يتأكسد. التفاعل الكيماوى يمكن وصفة بالمعادلة التالية.



$$S + O_2 === SO_2$$

ثانى أكسيد الكبريت عبارة عن غاز ليس له لون وله رائحة حادة وصدمية (Choking). وهو ملوث أولى لأنه ينبعث مباشرة فى شكل SO_2. عادة معظم الناس ليس لديهم المعرفة أن الغاز له وزن كبير، ولكن عندما تكون الأحجام كبيرة فإن الوزن الكلى يمكن أن يكون ضخماً. تقريباً يتم صرف حوالى ٢٥ مليون طن من SO_2 فى الجو كل عام فى أمريكا. أكثر من ٨٠% من هذه الانبعاثات يكون مصدرها حرق الوقود الحفرى حيث معظمه من محطات توليد الطاقة الكهربية. جزء صغير فقط يأتى من المصادر المتحركة. المصادر الأخرى لانبعاث SO_2 هى من تكرير البترول، صهر النحاس، وصناعة الأسمنت. منذ عام ١٩٧٠ تم خفض معظم انبعاثات SO_2 بدرجة كبيرة نتيجة إزالة الكبريت من الوقود، غسيل الغازات العادمة ..الخ. فى وجود الأكسجين وبخار الماء وضوء الشمس يمكن أن يساهم SO_2 فى تفاعلات كيماوية أخرى. فهو يتفاعل مع الأكسجين ليكون SO_2، والذى يتفاعل عندئذ مع بخار الماء ليكون ضباباً من حامض الكبريتيك. التفاعلات الكيماوية كما فى المعادلات التالية.



$$2\ SO_2 + O_2 === 2\ SO_3$$



$$SO_3 + H_2O === H_2SO_4$$

ضباب حامض الكبريتيك هو ملوث ثانوى ذلك لأنه لا ينبعث مباشرة ولكنه يتكون فى الجو. وهو مكون للمطر الحمضى، أحد مشاكل تلوث الهواء الإقليمية الهامة (سيناقش فى البند التالى). جزيئات حامض الكبريتيك قد تتكشف كذلك على الجسيمات الموجودة فى الجو، وإيروسولات الكبرتيات (SO^{-2}_4) عادة تجمع جزء كبير من جسيمات التلوث فى

الجو. تلوث الكبريت يصل إلى الأرض بالترسيب الرطب (الذى هو المطر الحامضى) أو فى الشكل الجاف بدون ترسيب.

أكاسيد النيتروجين :

توجد أنواع كثيرة من أكاسيد النيتروجين (يرمز لها جميعاً بالرمز N_X)، ولكن واحداً له اهمية كبيرة هو ثانى أكسيد النتيروجين (NO_2). معظم الإنبعاثات تكون أولاً فى شكل أكسيد النيتريك (NO) والذى هو غير ضار عند التركيزات الموجودة عادة فى الجو. ولكن (NO) يتأكسد بسرعة إلى (NO_2) والذى فى وجود ضوء الشمس يمكن أن يتفاعل مع الهيدروكربونات لتكوين سحابة محتوية على الدخان تسمى (Photochemical Smog). هذه السحابة الدخانية (Smog) ضارة. كذلك فإن NO_2 يتفاعل مع شق الايدروكسيد ($OH^`$) لتكوين حامض النيتريك (HNO_3)، والذى يساهم فى مشكلة المطر الحمضى. رغم أن (NO) لا لون له، فإن (NO_2) عبارة عن غاز خانق، يسبب الحساسية ويكون سحابة دخانية ذات لون أحمر – بنى.

أكثر من ٢٠ مليون طن من أكاسيد النيتروجين تنبعث كل عام فى أمريكا. المصدر الكبير هو من أكسدة مركبات النيتروجين أثناء احتراق أنواع من الوقود الجوى مثل الفحم والجازولين. أكاسيد النيتروجين تتكون كذلك عندما تكون درجة الحرارة مرتفعة بما تمكن من أكسدة النيتروجين الجزيئى فى هواء الاحتراق. المصادر الثابتة هى من أكبر مصادر انبعاث أكاسيد النيتروجين، رغم أن المصادر المتحركة هى هامة كذلك.

(من التقنيات التى تدعو إلى السخرية أنه نحو تطوير عمل محركات الاحتراق الداخلى بما يحقق الحد من انبعاثات أول أكسيد الكربون مثل زيادة الإمداد بالهواء ورفع درجة حرارة الاحتراق فإن ذلك أدى إلى زيادة حدة مشكلة (NO_x).

أول أكسيد الكربون :

أثناء الحرق الكامل للوقود الحفرى، فإن ذرات الكربون فى الوقود تتحد مع جزئيات الأكسجين لتكوين ثانى أكسيد الكربون (CO_2). ولكن عملية الاحتراق نادراً ما تكون تامة. فقد يحدث احتراق غير كامل للوقود عندما يكون الإمداد بالأكسجين غير كافى، عندما تكون درجة حرارة الاحتراق منخفضة جداً، أو عندما يكون زمن المكث فى غرفة الاحتراق قصير جداً. أول أكسيد الكربون (CO)، ناتج الاحتراق الغير كامل، هو من أكثر الملوثات وفرة. المعادلة الكيماوية لوصف تكوينه هى كالآتى :



$$2C + O_2 === 2CO$$

أول أكسيد الكربون لا يمكن رؤيته تماماً، ولا لون له ولا مذاق ولا رائحة. (التأثيرات الضارة لهذا الغاز الغير مرئى سيتم مناقشتها لاحقاً). حوالى ٧٠% من انبعاثات أول أكسيد الكربون يكون مصدرها السيارات فى المدن. مستويات (CO) والتى تتراوح مابين ٥ إلى ٥٠ جزء فى المليون فى هواء المدينة، قد تصل أحياناً إلى ١٠٠ جزء فى المليون فى الطرق السريعة المزدحمة. (دخان السجاير يحتوى على أكثر من ٤٠٠ جزء فى المليون من أول أكسيد الكربون). جزء كبير من إجمالى إنبعاثات (CO) يأتى من نظم التسخين المنزلية ومن عمليات تصنيع معينة. محطات توليد الطاقة مصممة وتعمل بطريقة تقلل من الاحتراق الغير كامل لذلك فإنه لا ينبعث منها كثيراً من (CO) .

<u>الجسيمات الصغيرة (Particulates Matter)</u>

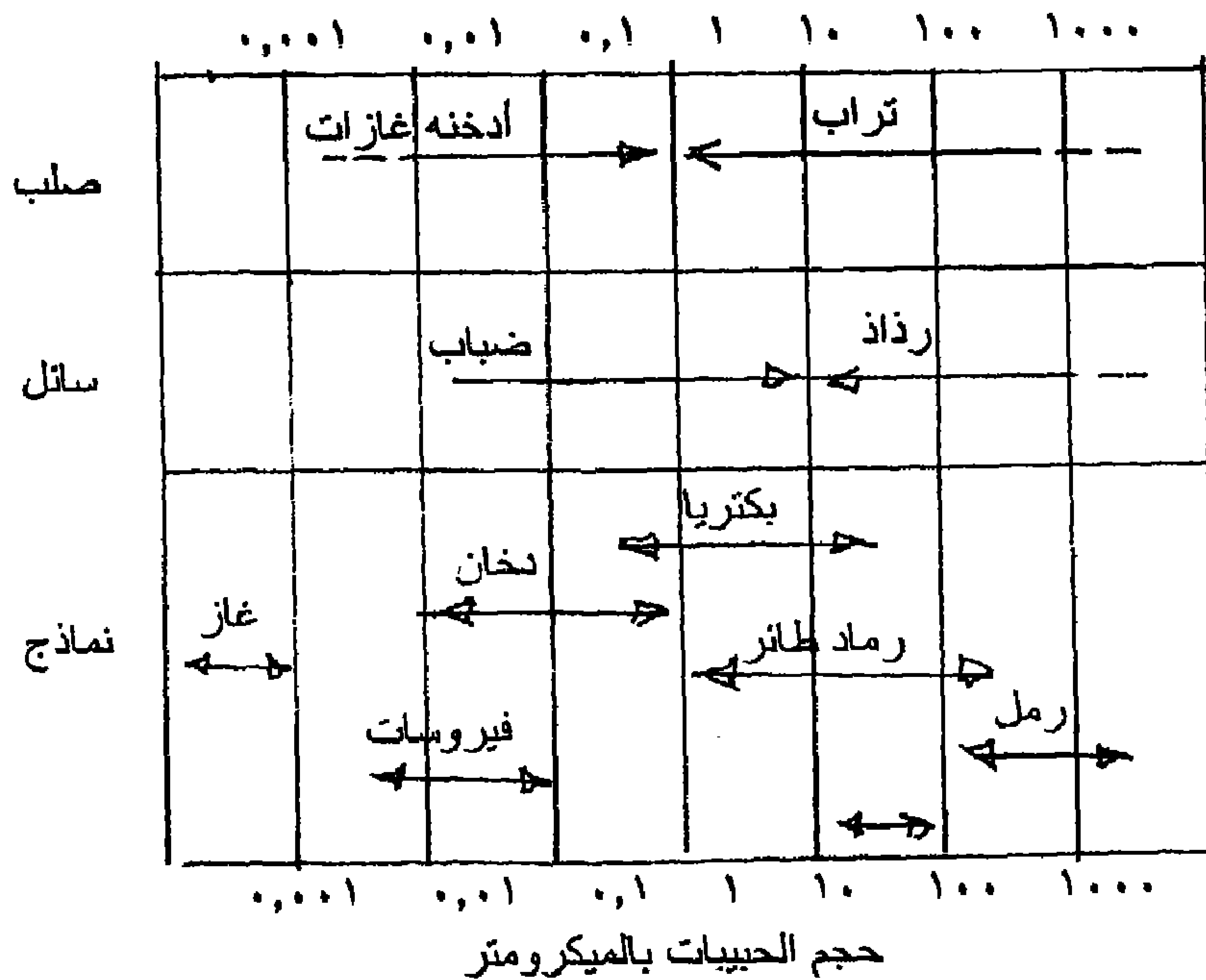
الجسيمات المتناهية الصغر للنقاط الصلبة أو السائلة العالقة فى الهواء تسمى (particulates) باستثناء الرصاص يتم التعرف على الجسيمات على أساس حجم الحبيبة والمصدر، وليس بالتركيب الكيماوى. نظراً لأن لها أشكال غير منتظمة فإن الحجم يعرف بمكافئ القطر الحركى الهوائى (Aerodynamic Diameter)، والذى يشير إلى دائرة ذات كثافة الماء والتى لها نفس سرعة الترسيب مثل الجسيمات.

معظم الجسيمات يتراوح قطرها ما بين ٠,١ إلى ١٠٠ مليميكرون (واحد ميكروميتر أو 1mm) هو واحد على مليون من المتر وقد يسمى كذلك الميكرون (Micron). مواد الجسيمات ذات الأهمية بالنسبة للتأثيرات الضارة على صحة الإنسان هى عموماً أقل فى القطر من ١٠ مليميكرون ويشار لها (PM_{10}).

رغم أن الجسيمات المستقلة تكون صغيرة، فإن إجمالى كتلة الجسيمات التى تنبعث إلى الجو كبيرة جداً. إجمالى الانبعاثات الكلية للجسيمات هو حوالى ٧ مليون طن فى العام فى الولايات المتحدة. انبعاثات الجسيمات تأتى من عمليات تداول المواد، عمليات الاحتراق أو تفاعلات تحولات الغاز فى الجو. معظم المصادر تشمل العمليات الصناعية، محطات الطاقة التى تقوم بحرق الفحم أو الزيت، نظم التدفئة والتسخين المنزلية، المركبات. الجسيمات أصغر من ١ مليميكرون تميل إلى أن تظل عالقة فى الجو، بينما تلك أكبر من ١ مليميكرون تميل إلى أن ترسب بفعل قوة الجاذبية. الجسيمات عموماً تصنف بالاسم طبقاً لحجمها ونوعها (صلبة أم سائلة).

الجسيمات العالقة التي يتراوح حجمها (قطرها) ما بين ١ إلى ١٠٠ مليميكرون تسمى جسيمات الغبار (Dust particles)، بينما الجسيمات العالقة الصلبة الأصغر من ذلك (أقل من ١ مليميكرون) تسمى إما الضباب الرقيق أو الدخان (Smoke or Fumes). الغبار يتكون من أنشطة تداول المواد أو من العمليات الميكانيكية، بما فيها الطحن، تصنيع الأخشاب، وعلميات الترميل (Sand Blasting). جسيمات الدخان (Smoke) يتكون معظمها من مواد كربونية. (السناج Soot هو تعبير يشير إلى تراكمات مرئية من جسيمات الكربون). الدخان (Fumes) عادة يتكون من جسيمات صغيرة جداً من الأكاسيد المعدنية، ويتكون أثناء تفاعلات كيماوية معينة عند درجة حرارة عالية وتكثف البخار.

العالق من جسيمات السائل ما بين ٠,٠١ ، ١٠ مليميكرون يسمى الضباب (Mist)، بينما الرذاذ (Spray) يتكون من جسيمات سائلة ذات قطر أكبر من ١٠ مليميكرون. أخيراً فإن معنى كلمة إيروسول (Aerosol) أو الضباب الجوى تشير إلى كمية أى جسيمات صغيرة صلبه أو سائلة عالقة فى الهواء. للمساعدة فى وضع هذه المصفوفة من التسميات فى نظام مناسب، فإن الشكل (٦/٧) يوضح الحجم النسبى لمختلف الجسيمات الصلبة والسائلة.



شكل (٦/٧) خواص أحجام الجسيمات الصلبة والسائلة

جسيمات الرصاص (Lead Particulates)

هذا المعدن السام في شكل أدخنة (Fames) بحجم أقل من ٠,٥ مليميكرون هو من أكبر الملوثات. فى الماضى، المصادر الرئيسية لأدخنة الرصاص (Pb) كانت محركات السيارات التى تحرق الجازولين الذى يحتوى على إضافات ذات الأساس من الرصاص لمنع ظاهرة التخبط (Antilock). حاليا طالبت وكالة حماية البيئة (EPA) باستخدام الجازولين الخالى من الرصاص (Unleaded)، ولكن الرصاص مازال ينبعث من عمليات تكرير البترول وعمليات الصهر، إعادة استخدام البطاريات وبعض الأنشطة الصناعية الأخرى. الأطفال الصغار بالتحديد يكونون عرضة لمخاطر التسمم بالرصاص لأنه حتى المستويات المرتفعة قليلاً للرصاص في الدم تسبب عدم القدرة على التعلم ونوبة مرضية مفاجئة، مرض مزمن للمخ، وقد يصل حد التسمم إلى الموت. انخفض مستوى الرصاص فى الجو لأكثر من ٩٠% منذ منتصف عام ١٩٧٠ عندما تم منع استخدام الجازولين المعالج بالرصاص.

الأوزون والضباب الدخانى الكيميائى الضوئى :

(Ozone and Photochemical Smog)

الأوزون (O_3) هو ملوث ثانوى للهواء (Secondary) فى التروبوسفير، ويتكون من خلال مجموعة معقدة من التفاعلات الكيماوية ما بين ثانى أكسيد النيتروجين (NO_2) والمركبات العضوية المتطايرة (Voc's Volatile organic compounds) هى هيدروكربونات سريعة التبخر فى ظروف الجو العادية. التفاعل يتم تنشيطة بطاقه الأشعة تحت الحمراء فى ضوء الشمس. فى الواقع فإن عدداً من الملوثات الثانوية (التى تسمى المؤكسدات الكيماوية الضوئية (Photochemical Oxidants) تتكون فى التفاعلات. الأوزون هو الأكثر وفرة من بين المؤكسدات، وهو المكون الأساسى فى الضاب الدخانى الكيميائى الضوئى.

كلمة (Smog) وهى تلخيص لـ "الدخان والضباب" استخدمت أساساً فى إنجلترا لوصف تلوث الهواء المرئى الذى كان يسبب المستويات المرتفعة للجسيمات وثانى أكسيد الكبريت. بينما هذا النوع من الضباب الدخانى يختلف فى المصدر والمكونات عن الضباب الدخانى الكيميائى الضوئى، الخواص المشتركة لكليهما هى الضاب المنخفض البنى المسبب للحساسية الذى يسود فى الجو عند حدوث الضباب الدخانى (Smog).

نظراً لأن أكاسيد النيتروجين والكيماويات العضوية المتطايرة كلاهما ينبعث بكميات كبيرة من محرك العربات، فإن الضباب الدخانى الكيماوى الضوئى يكون عادياً فى المناطق الحضرية مع الكثافات المرورية العالية وأشعة الشمس. فمثلاً، لوس أنجلوس، كاليفورنيا يلاحظ أنهما يحظيان بهذه الظاهرة من الضباب الدخانى المزمن. الظواهر الجغرافية والمناخ تساهم فى هذا الوضع. الجبال حتى ارتفاع ٢٥٠٠ متر (٨٠٠٠ قدم) حول حوض لوس أنجلوس، التدفق الثابت الشرقى للهواء البارد العلوى عادة يهبط فوق المدينة، مسبباً انقلاباً حرارياً. هذا الانقلاب فى درجة الحرارة يحتجز الملوثات فوق المدينة، والسماء الصافية (حوالى ٢٠٠ يوم فى العام) توفر ضوء الشمس الكافى لإنتاج الضباب الدخانى (Smog).

ملوثات الهواء الخطرة : (Hazardous air pollutants)

ملوثات الهواء المرتبطة بمصادر معينة والتى تسبب تهديداً فورياً لصحة الإنسان تمسى سميات الهواء أو ملوثات الهواء الخطرة. الخطورة تكون كبيرة لمن يقطنوا فى المناطق الحضرية عالية التلوث وذات الصناعات الكثيفة. خطورة تلوث الهواء تزيد من السرطان وتأثيرات ضارة أخرى وتسبب مضار بيئية واسعة الانتشار. الجزء الكبير من السميات التى وجدت فى بحيرة ماء، وجد أنه ترسب من الهواء أكثر من التدفقات السطحية (مثال لذلك الزئبق فى البحيرات العظمى). بينما الانبعاثات للملوثات فى معظم الحالات ثابت ومتدرج، فإنه توجد احتمالات لملوثات الهواء الخطرة أن تنطلق مفاجأة فى شكل حوادث مدمرة. أحد أهم هذه الحوادث السيئة هى حادثة ١٩٨٥ فى مصنع المبيدات فى مدينة (Bhopal) فى الهند حيث انطلاق مادة الميثيل أيزو سيانيد السامة فى الهواء قتلت حوالى ٣٠٠٠ فرد وأصابت آلاف آخرين. توجد مئات من الحوادث كل عام فى الولايات المتحدة حيث تنطلق مواد شديدة السمية فى الهواء عن غير عمد وإن كان هذا ليس بشدة وعنف حادثة الهند.

برنامج سميات الهواء الذى تم وضعه بواسطة قانون الهواء النظيف عام ١٩٩٠ (By the Clean air act amendments) تضمن حوافز كبيرة نحو ابتكار ومنع التلوث فى الصناعة. تم وضع بيان بعدد ١٨٩ ملوثات سامة للهواء، مع جدول لمدة ١٠ سنوات لوضع المواصفات لكل المصادر الرئيسية لملوثات الهواء الخطرة. المصدر الرئيسى هو ذلك الذى يصرف أكثر من ١٠ أطنان فى العام من أى ملوث خطر فى الهواء أو ٢٥ طناً من أى ملوثات خطرة أخرى. وهذا أجبر الصناعات على إقامة أفضل تقنيات التحكم التى

تتطابق مع المواصفات. ويتوقع أن خطة ١٠ سنوات هذه سوف تقلل الانبعاثات الخطرة لتلوث الهواء لأكثر من مليون طن فى العام فى الولايات المتحدة.

قبل ذلك تم وضع مواصفات لعدد ست مواد من ملوثات الهواء السامة، وهم الأسبستوس، البنزين (C_6H_6)، البريليوم، الزئبق، الفينيل كلورايد (Vinylchloride)، وملوثات الهواء ذات النشاط الإشعاعى. أقصى مستويات للزرنيخ ومواد كثيرة أخرى جارى دراستها. الأسبستوس الذى يمكن أن يحمله الهواء أثناء عمليات النسف أو صيانة وتجديد المبانى القديمة المحتوى على الأسبستوس المقاوم للحريق، يمكن أن يسبب عديداً من أمراض الرئة بما فيها مرض السرطان. البنزين كذلك مسرطن فعال ينبعث فى الهواء بواسطة العربات التى تعمل بالجازولين. البريليوم يأتى من المسابك ومصانع السيراميك، المحارق ومصادر أخرى. الزئبق هو معدن موجود بكميات قليلة فى الفحم وينطلق إلى الهواء عند حرق الفحم لتوليد الطاقة. كما يمكن أن ينطلق أثناء حرق القمامة ومن عوامل التعرية لبويات اللاتكس (Latex - Based Paints)، التى تحتوى على الزئبق لمنع العفن الفطرى (Mildew). الزئبق يمكن أن يسبب تلف للمخ وللكلى. فينيل كلورايد ينبعث من عديد من صناعات البلاستيك.

<u>تأثيرات تلوث الهواء المحيط : Effects of Ambient Air Pollution</u>

تلوث الهواء معروف أن له تأثيرات ضارة متضمنة تلك التى على الصحة العامة، وواجهات المبانى والمواد المعرضة الأخرى، الخضراوات، الحاصلات الزراعية، الحيوانات، النظام البيئى الأرضى، ومناخ الأرض كلية. بعض الآثار الصحية سيتم تناولها هنا بالتفصيل. التأثير على المواد، الخضراوات وهكذا –الاعتبارات الاقتصادية الكبيرة – سيتم مناقشتها هنا.

التأثيرات طويلة المدى على مناخ الكرة الأرضية سيتم مناقشتها كذلك.

<u>تأثيرات الصحة : (Health Effects)</u>

ربما أن أهم تأثير لتلوث الهواء هو الضرر الذى يسببه لصحة الإنسان. عموماً تلوث الهواء يكون شديد الضرر على كبار السن وصغار السن. كثير من كبار السن قد كان يعانى من أحد أمراض القلب أو الرئة، وحالتهم الضعيفة هذه تجعلهم أكثر حساسية لضرر إضافى من تلوث الهواء. حساسية الرئة للأطفال حديثى الولادة أكثر حساسية للضرر بفعل تلوث الهواء. ولكن ليس فقط كبار السن أو الصغار هم الذين يعانون، ولكن

الأصحاء من جميع الأعمار يمكن أن يتأثروا بشدة بمستويات التلوث المرتفعة للهواء الجوى.

معظم التأثيرات الصحية تصنف على أنها إما حادة (acute) أو مزمنة (chronic) أو مؤقتة (temporary). التأثير الحاد يستمر لمدة قصيرة ولكنه حاد ويمكن أن يسبب الوفاة. التأثير المزمن عادة يشمل مرض الجهاز التنفسى مثل الالتهاب الشعبى (Brochitis)، انتفاخ الرئة (Emphysema)، الربو (Asthma) وربما سرطان الرئة. التأثيرات المؤقتة تشمل الحساسية للعين والحنجرة فى أوقات متقطعة، الكحة، آلام الصدر، التوعك الذى تبدأ به العلة (Malaise)، عدم الارتياح العام. حوادث تلوث الهواء المتقطعة تكون مؤقتة ولكن يمكن أن تكون مدمرة. أحد الحوادث استمر حوالى ٢-٧ يوم، أثناء ذلك الحين حدثت أمراض وزادت الوفيات فى جميع الأعمار، ولكن معظمهم من كبار السن وصغار السن وكذلك المرضى.

إنه من الصعب لخبراء الصحة العامة لمطابقة ملوثات هواء معينة مع أمراض معينة مع تأكيد مطلق، ولكن يمكن عمل استنتاجات عامة من البيانات المتاحة، وخاصة تلك المتاحة أثناء حوادث تلوث الهواء. بعض العوامل التى يجب اعتبارها هى الجرعة الأولية، جرعة الجسم الكلية، وزمن التعرض والتأثيرات المساعدة. المستوى الأولى لملوثات ما هو أدنى مستوى الذى أقل منه لا يكون هناك تأثيرات على الصحة العامة. المادة بدون بداية محددة سوف يكون لها بعض التأثيرات التي يمكن الكشف عنها أو رد الفعل عند أى مستوى من التلوث. العلاقة بين الجرعة - ورد الفعل لمعظم ملوثات الهواء، لسوء الحظ لا تكشف قيم بداية واضحة. حقيقة أن الإنسان يكون معرضاً لبعض من نفس الملوثات في الماء والغذاء وكذلك فى الهواء، بما جعل دراسات الصحة العامة معقدة بالنسبة لتأثيرات تلوث الهواء ذلك لأن إجمالى جرعة الجسم ليست هى دلالة الملوثات التى يحملها الهواء. كذلك، فإن التأثيرات الصحية لكثير من الملوثات (مثال CO) تعتمد بشكل كبير على زمن التعرض، ثم بعض الملوثات الأخرى تساعد على التحفيز، معنى ذلك أن التأثير الكلى على الصحة لمادتين أو أكثر معاً أسوأ عن أى منها منفرداً.

توجد شواهد كثيرة للربط بين سرطان الرئة وتلوث الهواء، ذلك رغم أن السبب الحقيقى والتأثير وما بينهما من علاقة مازال غير معروف. بعض الحقائق التى تؤكد العلاقة هى أن سرطان الرئة يحدث كثيراً فى المناطق الحضرية مقارنة بالمناطق الريفية. المواد المسرطنة وجدت فى هواء المدينة الملوث، كما أنها من مسببات السرطان في الحيوانات المختبرة في المعمل.

ملوثات الهواء تدخل إلى الجسم خلال الجهاز التنفسي، حيث يحدث انتقال للغازات في الحويصلات الصغيرة، حيث يمكن للملوثات عندئذ أن تمتص فى الدم. الرئة الهدف الرئيسى لملوثات الهواء يمكن أن تتلف بملوثات الهواء من الجسيمات والغازات.

التأثيرات لكل من ثانى أكسيد الكبريت، أكاسيد النيتروجين والأوزون تشمل حساسية العين والحنجرة والكحة وآلام الصدر. هذه الغازات الخانقة يمكن أن تتلف نسيج الرئة عند استنشاقها ويصاحبها التهاب شعبى وانتفاخ الرئة وأمراض رئوية أخرى. ثانى أكسيد الكبريت يمكن أن يقلص الأنابيب الشعبية ويؤثر بشدة على الأهداب، الشعيرات الصغيرة جداً التى هى جزء من آلية الدفاع عن الجهاز التنفسي. أكسيد النيتروجين معروف أنه يسبب الاستسقاء الوريدى، تراكم السوائل الزائدة في الرئتين. الأوزون الغاز شديد الإثارة والتهيج يسبب انقباض الوريد الرئوي، أعراض التعرض للأوزون قد تشمل جفاف الحلق، الصداع، عدم الاتزان، وتغير فى نظام التنفس. الالتهاب الشعبى الحاد الذى يظهر من السعال الحاد، يكون بسبب الإفرازات المخاطية الزائدة في شعبتي القصبة الهوائية. ثبت أن الوفاة من الالتهاب الشعبى كانت بسبب ارتفاع مستوى تلوث الهواء. نفس الأسباب تنطبق على انتفاخ الرئة والذى يتصف بتكسير الحويصلات الهوائية، مسببا صعوبة كبيرة فى التنفس. المرض عادى فى المناطق الحضرية وهو من الأسباب التي تؤدى إلى الوفاة خاصة عندما يصاحبه التأثيرات الناتجة عن تدخين التبغ.

أول أكسيد الكربون هو غاز لا لون له ولا رائحة ولا يمكن ملاحظته وهو غاز خطير نظراً لأنه يستنشق بدون أن يسبب أى حساسية أو عدم ارتياح. أول أكسيد الكربون غاز شديد السمية ذلك لأنه يتحد بسرعة مع الهيموجلوبين فى الدم حيث يحتل المكان الذى يشغله الأكسجين طبيعيا (والذى يحتاج إليه الجسم باستمرار). تكوين مادة الكربوكسى هيموجلوبين تقلل من قدرة الدم على نقل الأكسجين إلى خلايا الجسم بما يؤدى إلى الاختناق.

مستوى أول أكسيد الكربون بحوالى ١٠٠٠ جزء فى المليون. يمكن أن يسبب فقدان الوعى للشخص الصحيح بعد التعرض لمدة ساعة، تحدث الوفاة بسبب الاختناق بعد حوالى ٤ ساعات عند هذا التركيز. حتى أن التركيزات الأقل كثيراً يمكن أن تسبب المرض أو خفض الوعى الذهنى. نتيجة لذلك فإن أقصى تعرض مسموح به لمدة ٨ ساعات للعمال فى الولايات المتحدة هو ٥٠ جزءاً فى المليون. فى حالات معينة وبالتحديد

بالقرب من الطرق المزدحمة بالسيارات فإن مستوى أول أكسيد الكربون فى الجو قد يصل فى ساعة الذروة إلى حوالى ٤٠٠ جزء فى المليون.

الأثر الضار الكبير على الصحة العامة نتيجة استنشاق جسيمات المادة يتوقف غالباً على حجم هذه الجسيمات. الأجسام التى تخترق بعمق نحو الرئتين وتصل إلى الحويصلات الهوائية تكون خطرة بالتحديد نظراً لأنها تستمر هناك لمدة زمنية طويلة نسبياً. جسيمات معينة تكون خطيرة بسبب خواصها السامة أو المسرطنة، من بين هذه المواد أبخرة الرصاص وشعيرات الأسبستوس. كثير من الأجسام الكربونية ، هناك شك فى أن تكون مسرطنة. بينما الأجسام أصغر من ٠,١ مليميكرون فى الحجم يمكن أن تصل بسرعة إلى الحويصلات الهوائية، فإن الأجسام أكبر من ١ مليميكرون يتم عادة حجزها بواسطة بطانة الحماية من الغشاء المخاطى وشعيرات الأهداب فى الأنف والحنجرة. العامل الذى يؤثر على ترسيب الأجسام، بين ٠,١ إلى ١ مليميكرون فى الرئتين هو عدد مرات التنفس فى الدقيقة، العامل الآخر هو إجمالى حجم الهواء الذى يتحرك من وإلى الرئتين مع كل تنفس. الجسيمات أكبر من ١٠ مليميكرون تميل إلى أن ترسب بسرعة فى الهواء، ولا يمكن اعتبارها مسببة لأى مشاكل صحية لأن تلك التى يتم استنشاقها تزال عادة فى الجزء العلوى من الجهاز التنفسى ولا تخترق بعمق نحو الرئة. المستويات العالية للجسيمات تعمل بتعاون مع المستويات العالية من ثانى أكسيد الكبريت ولها علاقة بزيادة معدل عدوى الجهاز التنفسى وعدم انتظام ضربات القلب. ضباب حامض الكبريتيك يكون مهيجاً للغشاء المخاطى، النقاط الصغيرة من حامض الكبريتيك يكون ضررها أكثر من أربعة أضعاف ضرر غاز ثانى أكسيد الكبريت. جسيمات الرصاص تتداخل مع أداء خلايا الدم الحمراء مع صعوبة التنفس، السعال والفقد فى الوزن.

مؤثرات أخرى لتلوث الهواء :

تلوث الهواء يسبب تلفاً كبيراً للمادة وخاصة فى المناطق الحضرية شديدة التلوث وهذه تشمل الإتساخ وتلف أسطح المبانى (أو الواجهات) والآثار العامة، وتآكل المعادن، وإضعاف المنسوجات، الجلود، المطاط، النايلون، والمنتجات المصنعة الأخرى.

ترسيب الجسيمات على المواد المعرضة هو أحد أسباب الاتساخ، ونظافة هذه الأسطح المتسخة باستمرار قد يؤدى إلى سرعة إتلافها. الاحتكاك يسبب الأجسام التى تحملها الرياح بسرعة عالية يمكن أن يحدث إضعاف وبلى للأسطح الصلبة وحتى الأحجار.

ثانى أكسيد الكبريت هو من الملوثات التى تحدث تآكل للمعادن. وتضعف المنسوجات من الخيوط الصناعية (مثل الخيوط من النايلون)، كذلك يمكن أن يسبب تغيراً كيماوياً فى لوح أسطح الطلاء بالبويات.

حامض الكبريتيك يمكن أن يسبب تلفاً حاداً للمواد المعرضة مثل الحجر الجيرى، والمونة الأسمنتية، يتفاعل الحامض مع كربونات الكالسيوم فى مواد البناء هذه مكوناً كبريتات الكالسيوم التى تذوب فى الماء، والتى يسهل غسيلها وإزالتها بمياه الأمطار، تاركاً سطحاً متآكلاً. الجلد يصبح هشا عند تعرضه لثانى أكسيد الكبريت كما فى حالة تشقق المطاط عند تعرضه للأوزون، وهذه أمثلة إضافية لعدوانية الكيماويات على المواد بفعل تلوث الهواء.

إتلاف المواد بتلوث الهواء هو أكثر من كونه مشكلة إحساس فهى مشكلة اقتصادية بكل المقاييس. رغم أن ذلك ليس سريع الوضوح للملاحظ العادى، فإن إجمالى تكاليف النظافة والإصلاح للتلف بسبب تلوث الهواء يقدر بما يزيد عن مليار دولار فى العام فى الولايات المتحدة.

تلوث الهواء يمكن أن يدمر الأشجار، الزهور، الثمار، والخضروات بطرق مختلفة. بعض الملوثات تسبب تحطماً لنسيج الورق، والآخر يمكن أن يبيض أو يغير لون الأوراق. الأوزون بالتحديد يسبب التلف لأوراق النبتة (التى تزرع لأوراقها الزيتية)، ويقلل من معدل النمو للسلالات الحساسة من الأشجار. الأوزون وحده يسبب ما لا يقل عن ٩٠% من التلف للحاصلات الزراعية (مثل القمح)، والذى يتراوح ما بين ٢-٣ مليار دولار فى العام فى الولايات المتحدة. ملوثات هواء معينة تسبب كذلك أضراراً للماشية، ولكن هذه مشكلة محلية للمزارع التى تقع قريباً من مواقع صناعية معينة المسببة للتلوث. بالنسبة للجمهور فإن التأثير الملاحظ لتلوث الهواء هو على الجو نفسه. وخاصة هذه الحالة من الضباب وخفض الرؤية نتيجة تشتت الضوء. الجسيمات العالقة والضباب يمكن أن يؤثر على حالة المناخ بزيادة معدل حدوث تكون الضباب وكذلك المطر. ربما ليس كما يلاحظ ولكن للأهمية على المدى الطويل، هو حقيقة أن تراكم الأجسام العالقة فى الجو يمكن أن تقلل بدرجة كبيرة كمية الطاقة الشمسية التى تصل إلى سطح الأرض. وهذا سوف يؤثر على قدرة الأرض على الانعكاس (Reflectivity) [Albedo - وهو قياس قدرة سطح غير صقيل على عكس الإشعاع الساقط عليه]، والذى يمكن أن يؤدى إلى هبوط فى

متوسط درجة حرارة الكرة الأرضية حالياً، يبدو أن أى زيادة فى قـدرة الأرض علـى الانعكاس يتم مقاومتها بالظاهرة الكونية المسماة تأثير الصوبة (Green House Effect).

٤- تلوث هواء الكرة الأرضية : (Global Air Pollution)

مشكلة تلوث الهواء ليست بالضرورة مقيدة على مستوى محلـى أو إقليمـى. دوران وانتشار الهواء الجوى يمكن أن ينقل ملوثات معينة بعيداً عن مصدر إنتاجها، حيث يتمدد تلوث الهواء إلى المستوى القارى أو مستوى الكرة الأرضية، حيث يمكـن أن يقـال أن مشكلة نوعية الهواء لا تعرف حدوداً دولية. بعض ملوثات الهواء معروف أنها مصاحبة للتغيرات فى مناخ الأرض، بما يتطلب أداء حكومى للحد من تأثيراتها. وصف التلوث أنه عالمى لا يعنى أن الملوث ليس بالضرورى منتشراً على كل العالم. وهذا يعنى أن التلوث يحدث فى مناطق مختلفة حول الكرة الأرضية ولكن ليس لأماكن محددة فقط.

يمكن وصف مقاييس انتقال الملوث فى الجو كالآتى :

محلى : حتى عدة كيلومترات من المنبع وغالبا يصاحبه كتل صاعدة من الهواء (سحابة) (Plume).

إقليمى : حتى ١٠٠٠ كيلومتر من المنبع ومصاحب بخروج سحابات مستقلة من كتـل الملوثات.

قارى : حتى عدة آلاف من الكيلومترات من المصدر وتبادل الملوثات بين التروبوسفير والاستراتوسفير ممكن على هذا المستوى.

عالمى : أكثر من عدة آلاف من الكيلومترات من المصدر وخلال كل الغلاف الجوى.

على مستوى الكرة الأرضية، التعرف على ممرات انتقال الملوثات يعتبر وصفه غير ضرورى بسبب الخلط الجوى المكثف. توجد مشكلتان هامتان من ملوثات الهواء حيـث يمكن اعتبارهما على المستوى العالمى (لكل الكرة الأرضية) وهما زيادة حرارة الكـرة الأرضية (Global Warming) وخفض الأوزون فى الاستراتوسـفير. المـشاكل البيئيـة المتعلقة بالمطر الحمضى ذات العلاقة الإقليمية والقارية سيتم تناولها كذلك.

دفء الكرة الأرضية : (Global Warming)

يزداد متوسط درجة حرارة الأرض فى كل العالم. فى الواقع فإن عقد ١٩٩٠ كـان أدفأ ما تم تسجيله، والاتجاه نحو الارتفاع التدريجى فى درجة الحرارة يبـدو أنـه فـى

استمرار. طبقا لبعض التقديرات فقد ارتفعت درجة حرارة الكرة الأرضية ٠,٥°م (١ فهرنهيت) منذ نهاية القرن التاسع عشر، وقد يبدو ذلك ارتفاع غير كبير، على أساس التغيرات الكبيرة فى درجات الحرارة التى تحدث على أساس يومى وسنوى فى أى مكان معين، بالإضافة إلى صعوبة قياس، جمع، وتفسير تسجيلات درجة الحرارة حول العالم منذ قرن من الزمان أو أكثر. ولكن معظم علماء الأرصاد الجوية يعرفون أن زيادة صغيرة فى متوسط درجة حرارة الكرة الأرضية يمكن أن يكون لها مردود ملموس على مناخ الأرض.

حقيقة أن الأرض ستزداد دفئا ليس محل خلاف بين العلماء. ولكن كان هناك بعض الخلاف حول أسباب دفء الأرض، وعن مدى هذا الدفء وعن تأثيرات هذا الدفء على أنماط المناخ. قليل من العلماء يعتقد أن كمية الدفء (ارتفاع درجة الحرارة) مازالت صغيرة بما يمكن معرفتها من الأسباب الطبيعية. وجهة النظر السائدة بين معظم القائمين بالأبحاث فى مجال الغلاف الجوى يرجعون ظاهرة الدفء بسبب زيادة تركيزات ثانى أكسيد الكربون وبعض الغازات الأخرى التى تحتجز وتستبقى الحرارة من الشمس. فى الواقع، فى يونيو ٢٠٠١ صدر تقرير من الأكاديمية الدولية للعلوم الأمريكية لتأكيد وجهة النظر أن جو الأرض يزداد دفئا، وأن الأنشطة الآدمية مسئولة بدرجة كبيرة عن الاتجاه نحو الدفء، وأن الموقف سئ.

ثانى أكسيد الكربون وغازات أخرى تحتجز الحرارة من الشمس فى عملية تشبه تلك التى تحدث فى الصوبة (Green House)، وبالتالى فإن عملية دفء الأرض تسمى تأثير الصوبة (Green House Effect) رغم أن المقارنة المباشرة بين الغلاف الجوى والصوبة الزجاجية المغلقة ليست بالدقة الكافية. وسيتم شرح أسباب ذلك.

تأثير الصوبة (Green House Effect)

لتفهم نظرية دفء الأرض، يكون من الضرورى أولا معرفة الفرق بين تأثير الصوبة الطبيعى وتأثير الصوبة بفعل الإنسان. تأثير الصوبة الطبيعى هو نتيجة طبيعية لوجود طبقة من الهواء حول الأرض، بينما تأثير الصوبة بفعل الإنسان يعتبر نتيجة مباشرة لتراكم بعض الغازات (Trace Gases) فى الهواء من الأنشطة بفعل الإنسان. من المهم ملاحظة أنه بدون تأثير الصوبة الطبيعى، فإن الحياة فى شكلها الحالى كانت مستحيلة على الأرض.

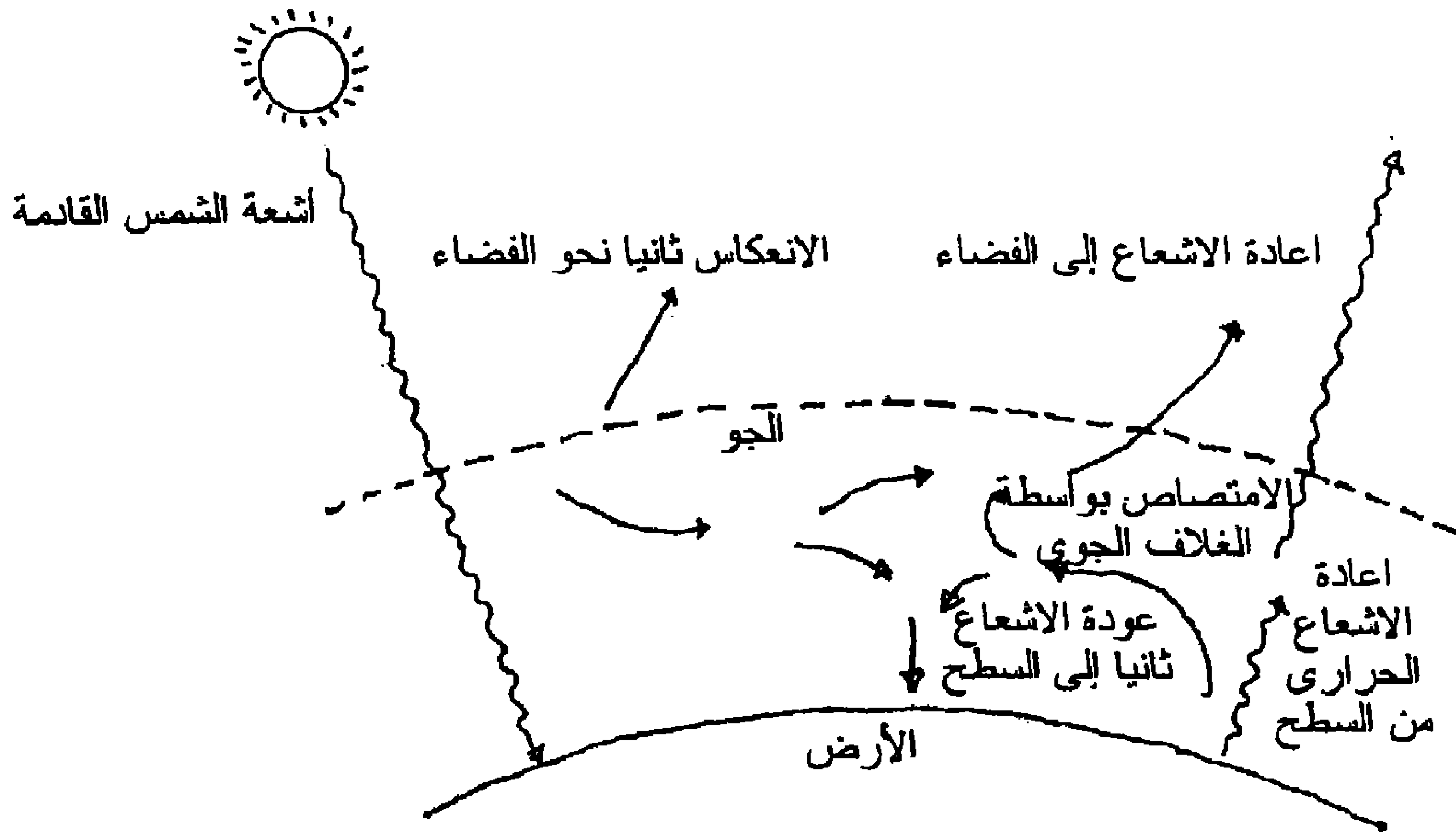
نظراً لأن الماء السائل ضرورى للحياة، فإن متوسط درجة الحرارة على الأرض يجب أن تظل فى المجال حيث يوجد الماء السائل، أى ما بين صفر إلى °100م. الأرض دافئة بما يكفى لوجود الماء السائل (والحياة) بسبب طبقة الهواء التى تسمى الجو أو الغلاف الجوى. إذا كانت الأرض بدون غلاف جوى، فإن متوسط الحرارة عند السطح سوف تكون حوالى -١٨ °م، كما هو الحال على سطح القمر الخالى من الهواء. فى الواقع درجة الحرارة على سطح القمر تنخفض إلى -١٥٠ °م فى الظلام، ولكن متوسط درجة حرارة الأرض فى طبقة الهواء فوق السطح مباشرة هو حوالى ١٥ °م. بمعنى آخر فإن الغلاف الجوى وتأثيره الصوبة الطبيعى يمكن أن يحافظ على دفء الأرض بحوالى ٣٣ °م أكثر دفئاً عن خلاف ذلك. السبب فى هذا هو أن الغلاف الجوى يؤثر على كمية الطاقة الحرارية التى يتم إشعاعها من الشمس والتى تصل إلى الأرض، وكذلك على كمية الحرارة التى يتم إشعاعها بواسطة الأرض لتعود ثانياً إلى الفضاء. سيتم عندئذ توضيح كيف يحدث ذلك.

كل الأغراض تشع طاقة حرارية، وكلما زادت سخونة الغرض زادت الحرارة التى يشعها. نوع الطاقة التى يتم إشعاعها والتى توصف بطول موجتها يتوقف على درجة حرارة الغرض. الإشعاع من سطح الشمس حيث درجة الحرارة °1600م معظمها فى جزء من الطيف (Spectrum) الذى نسميه الضوء المرئى. يمر الضوء خلال الغلاف الجوى حول الكرة الأرضية بدون امتصاص كامل. حوالى ٤٥% من الإشعاع القادم من الشمس يصل إلى سطح الأرض، ١٥% يتم امتصاصه بواسطة الغلاف الجوى، حوالى ٤٠% ينعكس ثانياً نحو الفضاء بواسطة السحب. بعض الضوء ينعكس كذلك عند السطح، ولكن معظمه يمتص بواسطة التربة، الصخور، الماء، الزراعات، تدفئة الأرض والبحر.

جزء من طاقة أشعة الشمس، بطول موجة أقصر من الضوء المرئى، يكون فى المجال الطيفى يسمى ضوء الأشعة فوق البنفسجية (UV). حتى أن جزءاً أصغر من الطاقة الكلية من الشمس ينبعث عند الطرف الآخر من الطيف فى حزمة تسمى الأشعة تحت الحمراء، ذات طول موجة أطول من تلك للضوء المرئى. الأشعة فوق البنفسجية تمتص فى الاستراتوسفير (بواسطة جزئيات الأكسجين وجزئيات الأوزون) وتوفر الدفء لهذه الطبقة من الهواء. ولكن هذا ليس له علاقة بتأثير الصوبة. الأشعة تحت الحمراء على الجانب الآخر تقوم بدور أساسى فى تأثير الصوبة. ولكن نحن نعنى الإشعاعات تحت الحمراء من الأرض وليست الإشعاعات تحت الحمراء من الشمس هى التى تقوم بذلك. كلما انخفضت درجة حرارة الغرض، كلما زاد طول الموجة لطاقته الإشعاعية. سطح

الأرض عند درجة حرارة أقل كثيرا عن درجة حرارة الشمس، تشع طاقة معظمها في مجال تحت الحمراء من الطيف. وليس مثل الضوء المرئي، هذه الأشعة تحت الحمراء تمتص في الجو، أساسا بواسطة بخار الماء، وجزئيات ثاني أكسيد الكربون. لهذا السبب، فإن الطبقة السفلي للغلاف الجوى التروبوسفير تصبح دافئة.

الهواء الدفئ نفسه يشع حرارة تحت الحمراء، بعض منها يعود ثانيا نحو الأرض بما يجعلها أكثر دفئا أكثر مما كانت بخلاف ذلك. هذا أساساً هو ما يعنى به تأثير الصوبة، باقي الإشعاعات الأرضية يتوجه إلى أعلى خلال الغلاف الجوى حيث تم تكرار امتصاصه وإشعاعه ثم الهروب نحو الفضاء كما هو في الشكل (٦/٨).



شكل (٦/٨) تأثير الصوبة. حوالى ٦٥% من الإشعاع الذى يصل إلى السطح هو طاقة تحت الحمراء التى يعاد إشعاعها نحو الفضاء

الجزء السفلي من التروبوسفير هو الأكثر دفئاً حيث تنخفض درجة الحرارة مع الارتفاع كما في الشكل (٦/٢). هذا الميل إلى البرودة ينعكس في الاستراتوسفير لأن الأشعة الفوق بنفسجية القادمة من الشمس يتم امتصاصها بواسطة جزئيات الأكسجين والأوزون. رغم ذلك فإن سطح الأرض أكثر دفئاً بحوالى ٣٣ْم عما لو كان الحال بدون تأثير الصوبة، ومتوسط درجة حرارة السطح لا تستمر في الارتفاع إلى ما لا نهاية طالما أن المكونات الكيماوية للغلاف الجوى تظل كما هي. عموماً، يجب أن يكون هناك اتزان بين كمية الحرارة التى تصل إلى الأرض من الشمس وكمية الحرارة التى تشعها الأرض

لتعود ثانياً نحو الفضاء. طبيعي أن الأرض سوف تصبح دافئة إذا كانت تشع حرارة أقل من التي تستقبلها من الشمس، وأن الميل للدفء سوف يتوقف عندما تصبح الحرارة الخارجة في حالة اتزان مع الحرارة القادمة.

اتزان إشعاع الأرض يعبر عنه بالمصطلح عدد الوات على المتر المربع (Watts Per Square Meter). الوات (W) هو وحدة القدرة (Power) أي الطاقة (Energy) في الثانية. مصباح الإضاءة المنزلي يمكن أن يكون له قدرة ١٥٠ وات معظمها في شكل إضاءة. على مستوى العالم، متوسط الانبعاث السنوي لإشعاع الموجة الطويلة (تحت الحمراء) من سطح الأرض هو حوالي ٣٩٠ وات/ المتر المربع. ولكن المنبعثة نحو الفضاء من أعلى الغلاف الجوي هي حوالي ٢٤٠ وات/ المتر المربع، كما تم قياسها بالأقمار الصناعية. الفرق حوالي ١٥٠ وات/ المتر المربع هو طاقة الإشعاع الممتصة بغازات الصوبة في الغلاف الجوي وتم إشعاعها ثانياً نحو سطح الأرض. عندئذ يمكن اعتبار تأثير الصوبة أنه مكافئ للطاقة المنبعثة من مصباح منزلي مضيئاً لكل متر مربع من الأرض. هذا، مع الطاقة المباشرة من الشمس يكفي للمحافظة على متوسط درجة الحرارة عند ١٥ °م، حيث كان من الممكن أن تكون -١٨ °م في حالة عدم وجود الغلاف الجوي. بالنسبة لمكونات معينة للغلاف الجوي، توجد نقطة إتزان التي عندها متوسط درجة حرارة سطح الأرض يظل ثابتاً (طالما أن إشعاعات الشمس لا تتغير). ولكن التغير في مكونات الغلاف الجوي (أي غازات صوبة أكثر) سوف يسبب زيادة الدفء لسطح الأرض حتى الوصول إلى نقطة اتزان جديدة.

الاتزان الطبيعي الموجود منذ مئات السنين قبل الثورة الصناعية، قد تغير بشكل ملحوظ. وهذا يرجع إلى حد كبير نتيجة حرق الوقود الحفري وزيادة كمية ثاني أكسيد الكربون في الجو، أي تأثير الصوبة بفعل نشاطات الإنسان. لقد سبق أن ذكر سابقاً أن استخدام تعبير تأثير الصوبة ليس صحيحاً تماماً في وصف ظاهرة دفء الكرة الأرضية. ذلك أن الغلاف الزجاجي يمنع فقد الحرارة بالانتقال (Convection) وكذلك الفقد في الأشعة تحت الحمراء، ويرفع درجة الحرارة داخل الصوبة الحقيقية أكثر كثيراً عن ما يمكن بتأثير جو الأرض فقط. (الانتقال يعني انتقال الحرارة بحركة كتلة من السائل من منطقة إلى أخرى في الفضاء). الغلاف الجوي كذلك يسمح بأطوال موجة معينة من الأشعة تحت الحمراء بالهروب نحو الفضاء خلال ما يسمى النافذة الجوية (Atomospheric Window). ولكن، تعبير تأثير الصوبة يستخدم كثيراً ومعروف لدى العامة أنه سبب دفء الأرض.

غازات الصوبة (Green House Gases)

النيتروجين والأكسجين المكونات الرئيسية للغلاف الجوى، ليس لها أى دور فى تأثير الصوبة، ولكن يوجد حوالى ٣٥ غازاً بنسب قليلة جداً (Trace Gases) حيث يعتقد العلماء أنها تساهم فى دفء الكرة الأرضية، يعتبر ثانى أكسيد الكربون (CO_2) من أهم غازات الصوبة هذه، لامتصاص معظم الحرارة المحتجزة بواسطة الغلاف الجوى.

ثانى أكسيد الكربون لا يعتبر من ملوثات الهواء بالمعنى العادى للكلمة. حالياً عند متوسط تركيز حوالى ٣٥٠ جزء فى المليون (٠,٠٣٥%) لا يسبب أى آثار ضارة على صحة الإنسان. ولكن منذ الثورة الصناعية فى منتصف القرن التاسع عشر زادت كمية ثانى أكسيد الكربون المنبعثة فى الهواء من حرق الوقود الحفرى (الزيت، الغاز، والفحم) للطاقة. منذ ١٠٠ عام تقريباً، كانت مستويات ثانى أكسيد الكربون ٢٧٠ جزء فى المليون، كما تم تعيينها بتحليل فقاعات الهواء فى قوالب ثلجية (Ice Cores) مأخوذة من (Green Land, Antarctica) ولقد زاد المعدل المتوسط لتركيز ثانى أكسيد الكربون بحوالى ٢% فى العام منذ عام ١٩٥٠. حوالى ٩٠% من انبعاثات ثانى أكسيد الكربون تحدث فى النصف الشمالى للكرة الأرضية. المصدر الرئيسى لثانى أكسيد الكربون هو حرق الوقود الحفرى الذى يوفر أكثر من ٨٠% من احتياجات الطاقة للإنسان. يمثل الزيت حوالى نصف الوقود الحفرى المستخدم للطاقة، الفحم حوالى الثلث والباقى من الغاز الطبيعى، كذلك يعتقد أن تدمير الغابات ساهم فى زيادة منسوب ثانى أكسيد الكربون ولكن تأثير حرق الغابات أقل كثيراً عن ذلك من حرق الوقود الحفرى.

غازات أخرى ذات أهمية خاصة فى دفء الأرض هى غازات الكلورفلورو كاربون (Chloroflurocarbons - CFC'S)، وغاز الميثان، وأكاسيد النيتروجين، والأوزون، رغم أن متوسط تركيزات هذه الغازات أقل كثيراً عن تركيز ثانى أكسيد الكربون، إلا أنها أكثر كفاءة عن ثانى أكسيد الكربون عند تسرب الإشعاع طويل الموجة. عموماً، يقدر أن ثانى أكسيد الكربون يسبب ٦٠% من تأثير الدفء، الكلورو فلورو كاربون ٢٥%، والباقى بسبب الميثان، أكسيد النيتروز، الأوزون، وغازات أخرى بتركيزات قليلة جداً.

الكلورو فلورو كاربون هو من الكيماويات المخلقة التى تدخل إلى الجو نتيجة الأنشطة الآدمية، وهذه لها علاقة كذلك بسبب تأثيرات على نقص الأوزون فى الاستراتوسفير (سيتم مناقشته فيما بعد). الميثان وأكسيد النيتروز، غازات موجودة فى الطبيعة تزداد لدرجة ما بسبب النشاطات بفعل الإنسان. كل من هذه الغازات ذات

التركيزات القليلة جداً له زمن مكث طويل فى الجو، لذلك فـــإن تأثيراتهـــا لهـــا صـــفة الاستمرار الطويل.

المصادر الطبيعية لأكسيد النيتروز تشمل الأسمدة ذات الأساس النيتروجيني والأسمدة العضوية من الحيوانات المنزلية. الدراسات الحديثة أظهرت أن أكسيد النيتـــروز ينبعـــث كذلك فى الهواء من المحولات الحفازة (Catalytic Converters)، التجهيزات فى ماسورة عادم السيارة (الشكمان) لخفض تلوث الضباب المحتوى على الـــدخان (Smog). أكـــسيد النيتروز يمثل أكثر من ٧% من غازات الصوبة، ونصف ذلك يـــأتى مـــن المحـــولات الحفازة. رغم أن مستويات أكسيد النيتروز المحيطة أقل كثيراً من مستويات ثانى أكـــسيد الكربون، إلا أن أكسيد النيتروز أقوى وأكثر فاعلية بنسبة حوالى ٣٠٠ ضعف عن ثـــانى أكسيد الكربون بالنسبة لقدرته على امتصاص الطاقة الحرارية وتدفئة الجو. لـــذلك فـــإن دوره كغاز صوبة يكون كبيراً.

أكسيد النيتروز (N_2O) لم يتم تصنيفه كملوث لأن قانون الهواء النظيـــف (Clear Air Act) تم عمله أساساً للسيطرة على الضباب الدخانى (Smog) وأنواع تلوث الهواء الأخرى وليس دفئ الكرة الأرضية. رغم أنه ممكن من الناحية التكنولوجية خفض انبعاثـــات N_2O بإعادة تصميم المحولات الحفازة بالتحرك التدريجى نحو استبدال ســـيارات الجـــازولين لتعمل بالكهرباء بما يوفر حل لانبعاث الملوثات من المركبات.

الآثار المترتبة على دفئ الكرة الأرضية

Potential Impacts of Global Warming

أحد الطرق التى استخدمها العلماء لتقدير تأثيرات دفـــء الأرض تـــضمنت تحاليـــل الحاسب للمعادلات الرياضية التى تحاكى جو الأرض. هذه البرامج المتطورة باســـتخدام الحاسب الآلى (computer) تسمى نماذج الدوران العـــام (general Circulation Models) – (GCMs). كقاعدة للتنبؤ بالآثار المستقبلية على الأرض معظم النماذج تفترض أن تركيز غازات الصوبة سوف يتضاعف. على هذا الأساس فإن نماذج الـــدوران العـــام (GCMs) استنتجت عموماً أن متوسط دفـــء الأرض حتى ٤,٢°م (٧,٥° فهرنهيت) وأن الزيادة الكلية فى الترسيب بحوالى ١٠% بحلول عام ٢٠٥٠. ويتوقع كذلك أن دفـــء الأرض ســـيوفر دورة هيدرولوجية أكثر نشاطاً، زيادة السحب (Cluld liness) وكذلك الترسيب.

ليس كل العلماء يوافقون على أن النشاط الإنسانى كان السبب فى درجـــات حـــرارة الكرة الأرضية. بصرف النظر عن الخلافات حول نظرية غاز الصوبة بفعـــل الإنـــسان

ودقة نماذج الدوران العام (GCMs)، فإن علماء الغلاف الجوى قادرون على وضع سيناريوهات حول التأثيرات العامة التى يمكن أن تحدث إذا استمر متوسط درجة حرارة الكرة الأرضية فى الارتفاع. يوجد تأثيران مترتبان على دفئ الأرض وهما التأثيرات على مستويات البحر وعلى النظم الإحيائية (Ecosystems).

التقديرات الحديثة تقترح أن مستوى سطح البحر فى العالم ارتفع بحوالى ٠,١٥ متر خلال القرن العشرين، حيث كان الارتفاع حدث منذ عام ١٩٣٠، بعض العلماء يعتقد أنه بسبب دفء الصوبة فإن متوسط منسوب البحر قد يرتفع بحوالى ٠,٣متر وحتى ١,٤ متر بحلول عام ٢٠٣٠، وهذا يحتمل أن يسبب مشاكل كثيرة اقتصادية واجتماعية فى المناطق الساحلية خلال كل العالم. منسوب سطح البحر قد يرتفع لأسباب كثيرة، بما فيها التمدد الحرارى لمياه البحر، وإذابة أنهار وأسطح الجليد القطبية، والتغيرات فى إطار الترسيب وهطول الأمطار، والتغيرات فى معدل البخر نحو الجو الدافء. ارتفاع منسوب البحر سيزيد من مخاطر الفيضان للمناطق الساحلية المنخفضة والتى تشمل كثيراً من البلاد. ارتفاع منسوب سطح البحر يمكن كذلك أن يزيد من مشاكل تآكل الشاطئ وتغير شكل خط الشاطئ (Coastline). تغلغل مياه البحر نحو الأراضى الساحلية وكذلك نحو خزانات المياه الجوفية يمكن حدوثه كذلك.

الآثار المترتبة على دفء الأرض بالنسبة للنظام الإحيائى تشمل أساساً التأثير على نمو الغابات والزراعة. نمو النبات سوف يتأثر بزيادة مستويات ثانى أكسيد الكربون والذى يساعد على عملية التمثيل الضوئى ويقلل فقد المياه من التعرق والارتشاح (Transpiration). ولكن أى فائدة من زيادة منسوب ثانى أكسيد الكربون يمكن أن يعززه أو يعوضه بالتغيرات فى المناخ التى يصاحبها تأثير دفء الأرض. التغيرات فى الترسيب والمناخ يمكن أن تسبب العديد من الضغوط الجديدة للنظام الإحيائى للزراعة والغابات مثل الحشرات، الأمراض، الجفاف، أو الفيضان.

بالإضافة إلى التأثير على الزراعة والغابات، فإن دفء الصوبة يتوقع أن يكون له آثار أخرى. فمثلاً، زيادة درجة الحرارة والرطوبة قد تزيد فرص الأمراض فى الإنسان والحيوان فى بعض أجزاء من العالم. التأثيرات الطبيعية للدفء قد تتطلب ضبط تصميمات مسطحات الفيضانات، إمدادات المياه، كود المبانى، والمشروعات الهندسية والمعمارية، وبعض الأماكن الهامة ذات التأثير على نمط حياة الإنسان.

جهود التحكم الدولية (International Control Efforts)

فى عام ١٩٩٠ أوصى مؤتمر علماء الغلاف الجوى فى جنيف أن كل الدول يجب أن تتخذ الخطوات الفورية لخفض انبعاثات غازات الصوبة، وقد أقروا أن كثيراً من الدول الصناعية يمكنها أن تخفض انبعاثات ثانى أكسيد الكربون بنسبة ٢٠% حتى عام ٢٠٠٥، باستخدام التكنولوجيا المتاحة بدون أن يتسبب ذلك فى أعباء اقتصادية كبيرة فى هذا الاجتماع وافقت كل الاثنتا عشر دولة أوروبية على وضع الأهداف نحو خفض انبعاثات ثانى أكسيد الكربون، ولكن الولايات المتحدة الأمريكية (المسئولة عن أكثر من ٢٠% من انبعاثات ثانى أكسيد الكربون فى العالم) وروسيا، والدول المنتجة للبترول مثل العربية السعودية شعروا أنه هناك حاجة لزيادة الأبحاث نحو دفء الأرض قبل اتخاذ القرارات النهائية.

فى عام ١٩٩٢ عند انعقاد قمة الأرض فى ريو دى جانيريو (Rio de Janero) تم توقيع معاهدة لإجبار الدول الصناعية بما فيها الاتحاد السوفيتى السابق لتثبيت انبعاثات غازات الصوبة عند مستويات ١٩٩٠ بحلول عام ٢٠٠٠. فى عام ١٩٩٥ حيث عقد مؤتمر دفx الأرض فى برلين، وافقت ١٢٠ دولة على مناقشة إلزام خطة زمنية للخفض الحقيقى للانبعاثات بعد عام ٢٠٠٠. وهذا الاتفاق الدولى سمى تفويض برلين (Berlin Mandate)، ودعا كذلك لإجراءات واضحة لخفض غازات الصوبة من الدول النامية.

وفى المؤتمر الدولى الذى عقد عام ١٩٩٧ فى كيوتو باليابان، تم التوصل إلى اتفاق نحو زيادة التدقيق لخفض انبعاثات غازات الصوبة. الظاهرة الأساسية للاتفاق، سميت بروتوكول كيوتو (Kyoto Protocol)، هو وضع أهداف بجداول زمنية للحد من انبعاثات غازات الصوبة للدول النامية. الأهداف المحددة تختلف من دولة لأخرى ولكن أولئك ذوى القوة الصناعية العالية لأوروبا واليابان والولايات المتحدة فإنهم متشابهون. الخطة لدى الولايات المتحدة كمثال هى لخفض الانبعاثات لمستوى ٧% أقل من مستويات ١٩٩٠. أهداف الانبعاثات لمعظم غازات الصوبة يجب الوصول إليها خلال ميزانية خمس سنوات، للمساعدة لتقليل وسهولة التغيرات فى الأداء الاقتصادى أو المناخ أى منهما الذى يمكنه تثبيت الانبعاثات فى عام معين.

الفترة الزمنية الأولى للميزانية ستكون من عام ٢٠٠٨ حتى عام ٢٠١٢، أى أن هناك عقد كامل من الزمان قبل البدء فى الزمن الملزم والذى سوف يوفر الوقت الكافى للشركات لعمل الانتقال لتعظيم كفاءة الطاقة وتحسين تكنولوجيات الحد من الانبعاثات.

الأنشطة التي تمتص الكربون مثل زراعة الأشجار سوف تؤخذ في الاعتبار عند الوصول إلى المستهدف من خفض الانبعاثات. تقدير دور الغابات في امتصاص ثاني أكسيد الكربون يعتبر حاسم نحو المسئولية البيئية الكلية لدفء الأرض وتغير المناخ. وهي كذلك توفر للقطاع الخاص الفرص ذات التكلفة المنخفضة لخفض الانبعاثات.

الظاهرة الهامة الأخرى لبروتوكول كيوتو هي التجارة الدولية للانبعاثات (International Emissians Trading). مع تجارة الانبعاثات، يمكن للدول شراء الترخيص بالإنبعاثات من أولئك الذين لديهم فرص أكثر من حاجتهم (لأنهم وصلوا إلى الأهداف With Room to spare). تنفيذ بروتوكول كيوتو يتطلب التصديق الرسمي لكل الدول المتضمنة. نظراً لأن التنفيذ سيكون له متطلبات اقتصادية فإن بعض الدول ستعترض على المساهمة الكاملة عن الأخرى. في الواقع، في ربيع ٢٠٠١ اعترضت الولايات المتحدة فجأة على قرارات كيوتو، أساساً بسبب أن الخطة لم تتضمن أي مواصفات لآخرين من بين أكبر المصادر الانبعاثات غازات الصوبة (الصين والهند). تأمين المساهمة البناءة في أي خطة لخفض الانبعاثات من الدول النامية (مثل التي سبق ذكرها) يظل أولوية هامة قبل حدوث التصديق للولايات المتحدة.

ما هو واضح رغم هذا، أن كل الدول تعرف الآن أهمية العمل نحو خفض الانبعاثات وتبطء معدل دفء الأرض في أقرب وقت ممكن. من المتوقع أنه سيتم الموافقة على تعديل اتفاقية كيوتو في المستقبل القريب.

<u>ابتكار تكنولوجيا للحد من دفء الأرض :</u>

<u>Innovative technology for controlling global warming</u>

حالياً توجد فقط طريقتين للحد من دفء الأرض الناتج عن الأنشطة الآدمية. أحدها هو بتوفير مصادر بديلة للطاقة (مثل الطاقة الذرية أو الطاقة الشمسية)، والتي لا تنتج ثاني أكسيد الكربون، غاز الصوبة الرئيسي. الآخر هو الحد من استخدام الطاقة خلال جهود الصيانة والمحافظة على الطاقة باستخدام سيارات وأجهزة' أكثر كفاءة. في الولايات المتحدة بدءاً العلماء قريباً في ارتياد استراتيجية ثالثة المسماة عزل الكربون (Carbon sequestration)، حيث يتم إزالة ثاني أكسيد الكربون من انبعاثات محطات إنتاج الطاقة بجهاز غسيل الغاز (Scrubbers) ثم حفظه، في شكل سائل مضغوط تحت الأرض أو تحت مياه المحيط. هذه التقنية الجديدة يمكن أن تكون مفيدة في المستقبل، وذلك

عند خفض تكلفة احتجاز ثانى أكسيد الكربون فى أجهزة غسيل الغاز وعندما يمكن حل التحديات البيئية المتعلقة بحفظه وتخزينه.

استنزاف أوزون الاستراتوسفير : Depletion of stratospheric Ozone

الأوزون (O_3) يلعب دوراً هاماً بالنسبة للكيمياء الغلاف الجوى فى كل من التروبوسفير والاستراتوسفير. عند مستوى سطح الأرض يكون ملوثاً، ولكن أوزون الاستراتوسفير (عند ارتفاع ما بين ١٢ إلى ٣٠ كيلو متر) يكون حاسماً للحياة على الأرض. طبقة الأوزون فى الاستراتوسفير تحتجز معظم الأشعة فوق البنفسجية الضارة الآتية من الشمس، وبذا يتم حماية النباتات والحيوانات.

منذ عام ١٩٨٥ عندما أعلن علماء الغلاف الجوى حول اكتشاف ثقب كبير فىطبقة الأوزون فوق أنتركتيكا (Antarctica) وهى قارة غير مأهولة تقع حول القطب الجنوبى)، حيث زاد التحذير العام حول هذا الموقف فى جميع أنحاء العالم. ثقب الأوزون والذى هو فى الواقع منطقة مستنزفة للأوزون يبدو أنها تحدث كل عام من حوالى أغسطس إلى نوفمبر، تطوق مساحة تعادل كل مساحة قارة أنتركتيكا. رغم أن الثقب أقفل فيما بعد، ولكن الاستنزاف قصير الأمد والحاد للأوزون له تأثيره الذى شاع حول العالم. رغم أن إجمالى الفقد فى الأوزون فوق أنتركتيكا لم يتضمن معدل الانخفاض، ولكن أظهرت القياسات انخفاض بطئ وثابت (حوالى ١% فى العام) فى كل مستويات الأوزون حول الكرة الأرضية منذ عام ١٩٧٠. مستويات الأوزون فىالغلاف الجوى يتم قياسها دورياً بطريقة روتينية بواسطة أجهزة الاسبكتروجراف (Spectrographic) على الأرض وكذلك بواسطة الأقمار الصناعية. الطاقة الفوق بنفسجية من الشمس تمتص بواسطة جزئيات الأوزون قبل أن تستطيع الوصول إلى سطح الأرض، عند انخفاض تركيز الأوزون، فإنه يصل إلى سطح الأرض إشعاعات فوق البنفسجية أكثر. فى الواقع فإن الأوزون يعمل كحاجز وقائى من الإشعاعات فوق البنفسجية. هذا يعتبر من الأمور الهامة نظراً لأن زيادة التعرض للأشعة فوق البنفسجية مرتبط بمرض سرطان الجلد، إعتام عدسة العين (Eye Cataract)، وانخفاض كفاءة جهاز المناعة. يمكن كذلك إحداث أضراراً لكثير من أنواع النبات والكائنات المائية عند زيادة التعرض للأشعة فوق البنفسجية. هذا بالإضافة إلى أن الاشعاعات فوق البنفسجية تتفاعل مع الفورمالدهايد فى التروبوسفير، بما يضيف إلى أسباب تكوين الضباب الدخانى الكيميائى الضوئى (Photochemical Smog).

الأوزون هو أساساً جزئ غير مستقر، ويوجد اتزان رقيق بين تكوينه وإزالته في الاستراتوسفير. وهو يتكون باستمرار مع امتصاص الطاقة قصيرة الموجة الفوق بنفسجية وفي نفس الوقت يتحول إلى الأكسجين الجزيئي بأنواع كثيرة من التفاعلات الكيماوية الضوئية (Photochemical Reactions). هذا الاتزان يتأثر بوجود مواد معينة وخاصة الكلور، الذي يسرع في معدل إزالة الأوزون.

أحد أهم العوامل المؤكسدة التي تسبب استنزاف الأوزون يعود إلى وجود كيماويات عضوية في الجو تسمى الكلوروفلوركاربون (Chloroflorocarbons - CFC'S). مصدر غازات الكلوروفلوركاربون يشمل عبوات الترزيز الهوائية (Aerosol Spray Cans)، المبردات، المذيبات الصناعية، عزل الرغاوي. مادة CFC'S لا تتحلل بيولوجيا. وهي تظل في التروبوسفير لمدة زمنية طويلة قبل صعودها إلى أعلى نحو الاستراتوسفير، حيث تتحلل بواسطة الأشعة فوق البنفسجية. هذا التفاعل يطلق الكلور والذي يكون عندئذ متاحاً للعمل كعامل وسيط نحو تعجيل تدمير جزئيات الأوزون. في سلسلة من التفاعلات الكيماوية الضوئية المعقدة، جزئ واحد من الكلور يمكن أن يدمر عدة مئات الآلاف من جزئيات الأوزون قبل أن يترك الاستراتوسفير.

عديد من النظريات تم اقتراحها بواسطة العلماء هي لماذا هذا الاستنزاف الحاد في الأوزون فوق قارة أنتركتيكا. رغم أن الطبيعة الصحيحة لهذا الظاهرة مازال بحثها مستمراً، فالعلماء عموما يعتقدون أن مادة الكلوروفلوروكاربون من المصادر في نصف الكرة الشمالي تنتقل إلى أنتاركتيكا بواسطة دوران الاستراتوسفير (Stratospheric Circulation). بلورات الثلج الميكروسكوبية يظن أنها توفر أماكن للتفاعل حيث عندها الكلور من (CFC'S) يمكن أن يتفاعل مع الأوزون. تكنولوجيا استخدام أشعة الليزر المسمى ليدار (Called lidar) يستخدم كذلك بواسطة العلماء لدراسة كيف أن بلورات الثلج من الاستراتوسفير تتغير في الحجم والشكل مع تكون ثقب الأوزون مع تصادم إشعاعات ليدار مع جزئيات الهواء، مع المقادير الضئيلة من الكيماويات وحبيبات الثلج، فإن جزءاً من الشعاع يتشتت إلى الخلف إلى مصفوفة من المكتشفات. أشعة ليدار يمكن أن تصل حتى ١٠٠ كيلو متر (٦٠ ميل) ويمكن أن تنتج خرائط ثلاثية الأبعاد لتصوير المكونات الكيماوية والخواص الطبيعية للغلاف الجوي خلال العام.

في منتصف ١٩٧٠، عندما عرف لأول مرة أن (CFC'S) هو الذي يهدد بخطورة طبقة الأوزون، حيث كان يستخدم أكثر من ٢٠٠٠٠٠ طن من (CFC'S) كل عام في

الولايات المتحدة فقط كمادة دافعة للايروسولات. فى عام ١٩٧٠ طبقاً لميثاق الحماية من المواد السامة، فإن وكالة حماية البيئة (EPA) قيدت استخدام مادة (CFC'S) فى معظم استخدامات ترزيز الايروسولات، وعديد من المدن تبنت محاذير استخدام مادة (CFC'S). الانخفاض فى استخدام الأيروسول تم تعويضه بالزيادة فى استخدامات أخرى، متضمنة صناعة الفوم البلاستيك كمادة عزل.

فى عام ١٩٨٦ فى مؤتمر دولى فى مونتريال بكندا، وقع ممثلو أكثر من ٣٥ دولة بروتوكول مونتريال والذى يدعو إلى خفض ٥٠% من إنتاج الكلوروفلوروكاربون (CFC'S) بعام ١٩٩٨. وفى الولايات المتحدة انتهى إنتاج (CFC'S) فى عام ١٩٩٥، ولكن الكيماويات يمكن أن يظل استخدامها فى المعدات الموجودة. بعض الناس يعتقد أن الإبعاد الكامل لكل المواد المسببة لاستنزاف الأوزون يجب أن يوضع كهدف. ولكن التقييد الكلى لاستخدام (CFC'S) سوف يؤثر على نمط الحياة فى كثير من الدول النامية. التبريد أصبح ضرورة، بالإضافة إلى رفاهية أجهزة التكييف فى المساكن والسيارات. كما أن التقييد الكلى لاستخدام هذه المادة يمكن أن يؤثر على محاولات الدول النامية فى تحديث صناعاتها ورفع مستوى المعيشة. لهذا السبب فإن حكومات كثير من الدول النامية تعارض التنفيذ الكامل للمنع عدا فى حالة وجود دعم مالى للتعويض عن نقص (CFC'S).

البدائل الآمنة بيئيا لمادة الكلوروفلوركاربون لأغراض التبريد والعزل الحرارى متاحة ويجب استخدامها، أو أن يتم التغيير لنمط الحياة. التأخير نحو الحد من استخدام مادة الكلوروفلوروكاربون يمكن أن يكون له عواقب وخيمة فى المستقبل، وكثيراً من علماء الغلاف الجوى يعتقدوا أن الخفض الكبير فى مادة (CFC'S) مطلوب بإلحاح لمنع استمرار إتلاف طبيعة الأوزون.

<u>ترسيب الحامض : (Acid Deposition)</u>

منذ عام ١٩٧٠ جذب انتباه العالم المشكلات المصاحبة بالترسيب الحمضى الذى يسمى المطر الحمضى حيث يعتقد أنه دمر وأتلف حياة الأسماك والنباتات فى آلاف البحيرات خلال وسط وشمال أوربا (وخاصة فى إسكندينافيا)، وشمال الولايات المتحدة، وجنوب كندا وأجزاء من الصين. كثير من سلالات الغابات خلال هذه المناطق قاربت على التلف بشكل كبير بسبب حموضة التربة.

المطر الحمضي يسبب كذلك ثقوباً وتآكلاً للمعادن وإتلاف الأسطح المغطاة بالطلاء، الخرسانة، الحجر الجيرى، والرخام فى المبانى والجبال والمشغولات الفنية والأغراض المعرضة الأخرى.

حموضة السائل تقاس بمقياس (pH) اللوغاريتمى الذى يتراوح من صفر إلى ١٤، حيث pH ٧ تكون حالة التعادل، pH الأعلى تكون قلوية، الأدنى تكون حامضية. مياه الأمطار هى حامضية بطبيعتها حتى فى المناطق البعيدة عن الأنشطة الآدمية، ذلك لأن ثانى أكسيد الكربون الموجود فى الجو يتفاعل مع بخار الماء ليكون حامض الكربونيك (H_2CO_3). نتيجة لذلك فإن pH حوالى ٥,٦ تعتبر عادة أنها تمثل خلفية لحموضة مياه الأمطار فى البيئة الأصلية النقية. المطر الحمضى عندئذ يمكن تعريفة بمياه الأمطار ذات pH (رقم هيدروجينى) أقل من ٥,٦ الناتج عن تلوث الهواء بسبب الأنشطة الآدمية.

الدراسات العلمية الحديثة أظهرت أنه فى مناطق حضرية وصناعية معينة أن الرقم الهيدروجينى (pH) المتوسط لمياه الأمطار أقل من ٤,٥. فى أجزاء من شمال كاليفورنيا، يكون للضباب الحمضى رقم هيدروجينى أقل من ٣، رقم هيدروجينى ٢,٢ (بنفس حموضة الخل) ثبت وجوده أثناء هبوط الأمطار فى اسكتلندا عام ١٩٧٤. نظراً لأن مقياس الرقم الهيدروجينى (pH) لوغاريتمى، فإن الانخفاض برقم واحد هيدروجينى يمثل عشرة أضعاف زيادة فى الحموضة، انخفاض اثنين فى الرقم الهيدروجينى يمثل زيادة فى الحموضة مقدارها مائة ضعف وهكذا. مياه الأمطار ذات رقم هيدروجينى ٣,٦ كمثال تكون ١٠٠ مرة زيادة فى الحموضة عن مياه المطر الطبيعية النظيفة.

المطر الحامضى يكون بسب إنبعاث أكاسيد الكبريت والنيتروجين فى الجو، غالباً نتيجة حرق الوقود الحفرى لإنتاج الطاقة الكهربية. المصادر الأخرى من الأنشطة الآدمية تشمل عمليات صناعية معينة والسيارات التى تعمل بالجازولين. يتفاعل ثانى أكسيد الكبريت مع بخار الماء فى الهواء ليكون حامض الكبريتيك وأكسيد النيتروجين يتفاعل مع بخار الماء ليكون حامض النيتريك. لقد وجد أن مساهمة ثانى أكسيد الكبريت يمكن أن يظل كجسيمات رقيقة ويرسب خارج الهواء فى الشكل الجاف. تعبير ترسيب الحامض (Acid Deposition) يستخدم لوصف التأثير الكلى لكل من الترسيب الجاف والرطب عند مستوى الأرض عند وصول المواد الحامضية سطح البيئة. الذى له تأثير ملحوظ على البيئة هو التراكم طويل المدى لرسوب الحامض وليس حوادث سقوط المطر الفردية. ترسيب الحامض فى شكل ثلوج (حيث قيس الرقم الهيدروجينى من مياه الثلج المسال) هو

كذلك له صلة بالارتفاعات العالية، وخاصة عندما يذوب فإنه يسبب انخفاض مفاجئ في الرقم الهيدروجيني لإمدادات المياه.

الأثر البيئي الرئيسي لترسيب الحامض هو خفض الرقم الهيدروجيني في البحيرات والأنهار. في ولاية نيويورك كمثال الرقم الهيدروجيني (pH) للبحيرات (In the Adirondacks) كان بمتوسط ٦,٧ في عام ١٩٣٠، ولكنه انخفض إلى ٥,١. معظم الكائنات المائية حدث لها اضطراب مع انخفاض الرقم الهيدروجيني. الحموضة لها أثر مدمر على دورة التكاثر للأسماك، عندما يكون الرقم الهيدروجيني أقل من ٤,٠ فإن تكاثر معظم الأسماك يصبح غير متوقع. حموضة الجزر الميتة تكون أقل من ٣,٥ (pH).

يتأثر الرقم الهيدروجيني للبحيرات المستقبلة للترسيبات الحامضية بوجود عوامل الدرئ (Buffers) في الماء. عوامل الدرئ يمكنها معادلة الحامض والمحافظة على ثبات الرقم الهيدروجيني، بالرغم من إضافة مواد حامضية إلى السائل. مثال لذلك فإن كربونات الكالسيوم هي العامل درئ طبيعي والتي هي من الحجر الجيري. البحيرات، المجاري المائية، والبرك ذات القاع من الحجر الجيري أو رواسب التربة عادة يكون لها قوة درئ عالية للمطر الحمضي بسبب وجود كربونات الكالسيوم في الماء. ولكن طاقة الدرئ في كثير من المسطحات المائية يمكن أن تستنفذ بسبب تفاعل الحامض مع كربونات الكالسيوم. في بعض البحيرات ذات طاقة درئ طبيعية قليلة يمكن خفض تأثير الترسيب الحمضي بإضافة الحجر الجيري إلى الماء.

توجد علاقة مباشرة بين ترسيب الحامض والصحة العامة، حيث المياه ذات الرقم الهيدروجيني أقل من ٤,٥ نتيجة ترسيب الحامض يمكنها أن تسبب التآكل في المواسير والذي قد يسبب وجود المعادن الثقيلة في مياه الشرب والتي تكون من نواتج التآكل. تراكم المعادن السامة مثل الزئبق والكادميوم في السلسلة الغذائية قد يكون كذلك بسبب ترسيب الحامض. العامل الذي يعقد مشكلة المطر الحمضي وبما يجعل البحث عن حل من الأمور الصعبة هو مستواه الإقليمي والقاري. معظم أكاسيد الكبريت والنيتروجين المنبعثة من المداخن العالية في محطات الطاقة لزيادة الانتشار ولتخفيف للغازات العادمة، حيث ذلك يمكن أن يوفر الحماية للتجمعات القريبة من التأثيرات الفورية لتلوث الهواء، ولكن هذا الصرف من المداخن الطويلة يسمح بحمل الملوثات لمسافات طويلة في الجو. الملوثات تطير في الفضاء إلى أقاليم أخرى أو حتى إلى قارات أخرى. فلقد قدر أن ٥٠% من المطر الحمضي في شرق كندا يأتي من الولايات المتحدة، وأن حوالي ٢٥% من المطر الحمضي في إقليم نيو إنجلاند في الولايات المتحدة يأتي من مصادر كندية. بالإضافة أن

المطر الحمضى فى النرويج يعتقد أنه يأتى معظمه من المناطق الصناعية فى بريطانيا والقارة الأوربية.

عبور الملوثات خلال الحدود السياسية :

قانون الهواء النظيف لعام ١٩٩٠، أعلن هنا الإصدار بوضع حدود سنوية على انبعاثات ثانى أكسيد الكربون من محطات القوى عند ٨,٩ مليار طن بعام ٢٠٠٠ مع العمل على خفض انبعاثات أكسيد النيتروجين كذلك. تم كذلك تنشيط المشروعات البحثية والحوافز الاقتصادية للصناعة. الحوافز الاقتصادية شملت السماح ببيع أرصدة الانبعاثات (Emission Credits). عندما يخفض المنتج للانبعاثات ما ينتجه من انبعاثات إلى أقل من الحد المقرر، فإنه يمكن بيع الفرق كرصيد دائن لشركة أخرى أو لمحطة طاقة التى تخطط للتوسع. الرصيد يمكن أن يساعد فى خفض بعض من تكاليف تلك الشركة لإقامة معدات جديدة للحد من التلوث. الأبحاث لتخفيف من حدة مشكلة المطر الحمضى شملت برنامج ٥ مليار دولار (بدأ فى عام ١٩٨٦ بمشاركة جهود كندا والولايات المتحدة نحو تطوير تكنولوجيا نظيفة لحرق الفحم).

٥- نوعية الهواء داخل المبنى : (Indoor Air quality)

حتى منتصف عام ١٩٨٠ كان الاهتمام بتكنولوجيا الحد من تلوث الهواء خارج بيئة المبنى. فى ذلك الوقت، أصبحت المخاطر الصحية المرتبطة بتلوث الهواء داخل المبنى ذات أهمية. بالإضافة إلى أن معظم الناس يمكثون معظم أوقاتهم (حتى ٩٠%) داخل المبنى، سواء فى المنزل أو فى العمل. هذه الحقيقة مع زيادة إجراءات المحافظة على الطاقة (بعد مفاجأة خفض زيت البترول فى سبعينات القرن الماضى)، شد انتباه علماء البيئة نحو تلوث الهواء داخل المبنى وكذلك اهتمام المسئولين عن الصحة العامة. إجراءات المحافظة على الطاقة تعمل على خفض معدلات تبادل الهواء، بما يعمل على تراكم ملوثات الهواء. ولذا فإن المبانى يمكن أن تكون تلوثاً أكثر من خارج المبنى.

تبادل الهواء : (Air Exchange)

الهواء خارج المبنى يدخل ويخرج بثلاث طرق وهى التسرب (Infiltration)، التهوية الطبيعية، التهوية عنوة (Forced). التسرب يعنى تبادل الهواء الذى يحدث عندما تكون الشبابيك والأبواب مغلقة، الهواء يتسرب خلال الشقوق، الوصلات، الثقوب فى حالة وجودها فى الجدران. معدل التسرب العادى فى منازل الولايات المتحدة يتراوح ما بين

٠,٥ إلى ٤,٠ تغير الهواء فى الساعة. المبانى الجديدة لها معدلات قريبة إلى المعدل الأقل والمبانى القديمة لها معدلات قريبة من المعدل الأعلى. معدل تبادل الهواء يساوى واحد يعنى أن كل هواء المنزل يستبدل بالهواء الخارجى خلال ساعة واحدة.

فى حالة المنازل التى يتم تبريدها أو تدفئتها فإنه يتم فقد كمية كبيرة من الطاقة بسبب التبادل بالتسرب للهواء الداخلى مع الهواء الخارجى. يمكن خفض معدلات التسرب أو إحكامها باستخدام مواد الإنشاء المناسبة وتقنيات العزل، وهذه أصبحت وسائل المحافظة على الطاقة فى إنشاءات المبانى الجديدة. ولكن انخفاض معدل التسرب يمكن أن يعقد المشكلة المتعلقة بنوعية الهواء الداخلى.

فى حالة التهوية الطبيعية فإن الهواء يدور خلال الأبواب والشبابيك. كلا من التسرب والتهوية الطبيعية يكون بسبب الفرق فى درجات الحرارة داخل وخارج المبنى وكذلك بسبب الرياح. معدلات التهوية الطبيعية أعلى من معدلات التسرب تحت نفس ظروف درجة الحرارة والرياح.

التهوية عنوة (Forced Ventilation) باستخدام المروحة أو النافخ (Blower) يمكن أن يوفر أعلى معدل لتبادل الهواء. التهوية عنوة (الميكانيكية) يمكن أن تكون متقطعة لإزالة الهواء من غرفة واحدة مثل المطبخ أو مستمرة حيث تزيل الهواء داخل المبنى وتوزيع الهواء الخارجى المرشح والمكيف خلال المبنى والمنزل.

كلا من التسرب والتهوية يعملان على تخفيف وإزالة ملوثات الهواء داخل المنزل. عندما لا يوجد ما يكفى من التسرب، التهوية الطبيعية، التهوية عنوة فإن معدلات تبادل الهواء تكون منخفضة ومستويات التلوث تميل نحو الزيادة. فى بعض الحالات يكون استخدام المنظفات الهوائية (Air Cleaners) مؤثراً لإزالة جسيمات الملوثات.

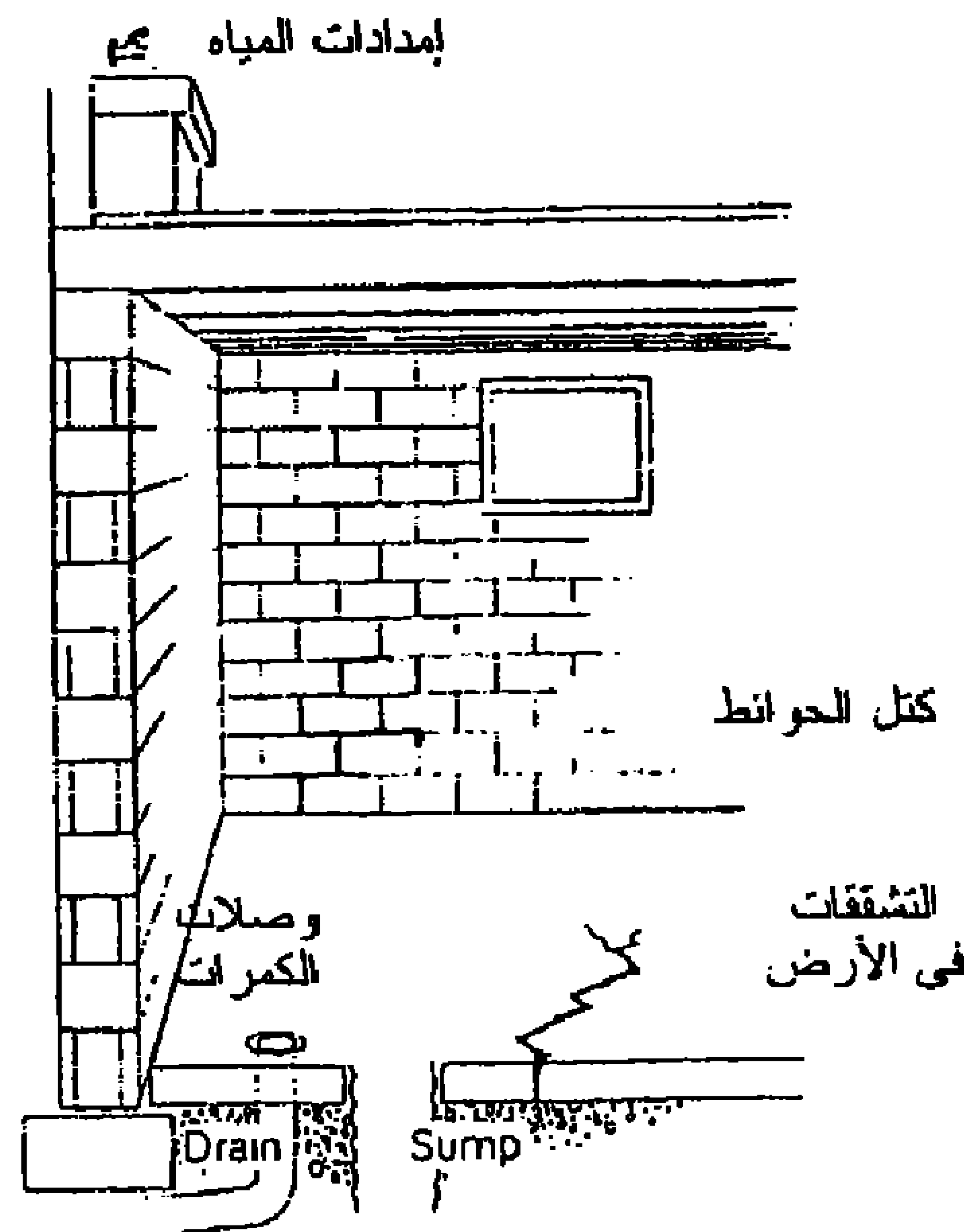
الملوثات داخل المبنى : (Indoor pollutants)

توجد مصادر كثيرة لملوثات الهواء داخل المبنى. نواتج الاحتراق خاصة دخان التبغ يعتبر مصدراً هاماً لتلوث الهواء. والرادون (Radon)، والذى ينتج باستمرار من التحلل لإشعاعى الطبيعى لمادة الراديوم التى توجد فى التربة وفى الصخور والذى يعتبر كذلك من ملوثات الهواء الداخلية المؤثرة. ملوثات الهواء الداخلية الأخرى هى الأسبستوس، الكيماويات العضوية من المنتجات للاستخدام المنزلى، الفورمالدهايد، الرصاص، المواد البيولوجية.

نواتج الاحتراق :

دخان التبغ هو ظاهرة لتلوث الهواء من الاحتراق الذى يحدث كثيراً داخل المبنى ذلك رغم التحذيرات نحو الآثار الصحية الخطيرة. دخان التبغ عبارة عن خليط أكثر من ٤٠٠ مركب، ما لا يقل عن ٤٠ نوع منهم مسبباً لمرض السرطان. وكثيراً منهم مسبب قوى للهياج والإثارة (Irritant). دخان التبغ داخل المبنى يمكن أن يسبب الضرر للسكان بالإضافة للمداخن.

البيئة الخارجية للمبنى. ولكن عند دخول غاز الرادون المبنى خلال الفتحات أو الوصلات أو الشقوق فإنه يمكن أن يتراكم. يمكن أن يتراكم تركيز الرادوم داخل المبنى إلى مستويات عالية جداً عداً فى حالة اتخاذ الإجراءات لمنع دخوله أو تراكمه. الرادوم يمكن كذلك أن يوجد فى المياه الجوفية فى بعض المناطق، حيث يمكن أن ينطلق فى الهواء الداخلى عند استخدام الماء للأغراض المنزلية. الطرق الرئيسية لدخول الرادوم إلى المبنى موضحة فى الشكل (٦/٩).



شكل (٦/٩) أماكن دخول الرادون

الرادون خامل كيميائياً ولكنه يتحلل إلى نواتج كيماوية نشطة والتى تسمى (Radon Progeny) والذى يلتصق بسهولة مع الجسيمات فى الهواء. المخاطر على الصحة العامة المتعلقة بالرادون، سرطان الرئة، الذى يعتبر سببه الرئيسى هو استنشاق الجسيمات

الملتصقة بنواتج الرادون. التحلل التالى لنواتج الرادون (Radon Progeny) يطلق الإشعاع الذى يدمر نسيج الرئة. درجة الخطورة تتوقف على زمن التعرض الكلى ومتوسط تركيز الرادون فى المبنى. استنشاق خليط من كل من الرادون ودخان التبغ يعمل علـى زيـادة الخطورة على الصحة العامة. لقد قدرت وكالة حماية البيئة (EPA) أنه ما بين ٥٠٠٠ إلى ٢٠٠٠٠ وفاة بسبب سرطان الرئة سنوياً فى الولايات المتحدة يرجع إلى التعرض الداخلى للرادون.

يوجد تجهيزين يستخدمان لقياس تركيز الرادون .

دخان التبغ : يعتبر تدخين غير مباشر والتعرض له يسمى عادة التـدخين الـسلبى (Passive Smoking). لقد استنتجت وكالة حماية البيئة فى عام ١٩٩٢ أن التعرض لدخان التبغ مسئولا عن حوالى ٣٠٠٠ حالة وفاة سنوياً بسبب سرطان الرئة للغيـر مـدخنين. التعرض لدخان التبغ لمدة طويلة مع التعرض للرادون يعتبر شديد الخطورة. التـأثيرات الصحية للتعرض القصير لدخان التبغ يشمل تهيج العين، والأنف والحنجـرة. الأطفـال الصغار واليافعين وخاصة الأطفال المصابين بالربو يكونون أكثر تأثراً بمخـاطر دخـان التبغ فى الوسط البيئى. من الواضح أن الطريقة المناسبة هى تجنـب أو الـتخلص مـن التدخين للتبغ داخل المبنى. وفى حالة عدم إمكان تجنب التدخين للتبغ داخل المبنى فـإن زيادة معدل التهوية بواسطة النوافذ المفتوحة أو شفاطات التفريغ سوف يقلل ولكنه لا يبعد التعرض لدخان التبغ.

بالإضافة إلى التدخين السلبى (Second Hand Smoke)، فـإن المـصادر الأخـرى للاحتراق داخل المبنى تشمل المواقد، الدفايات والمداخن.. الخ. الملوثـات مـن هـذه المصادر تشمل أول أكسيد الكربون، ثانى أكسيد النيتروجين، الجسيمات والتى هى كذلك من الملوثات الرئيسية خارج المبنى. مواقد الكيروسين يمكن كذلك أن تبعث ثانى أكـسيد الكبريت ورذاذ حامض (Acid Aerosols). فى المجال البيئى المغلق حيث لا يوجد دخان تبغ فإن مستوى الجسيمات العالقة أصغر من ١٥ مليميكرون يمكـن أن يكـون صـفر مليجرام/ المتر المكعب. مع دخان التبغ فى المجال البيئى فإن مـستوى الجـسيمات قـد يقترب من ٧٠٠ مليميكرون على المتر المكعب والذى يزيد كثيراً عن المستوى القياسـى لوكالة حماية البيئة. الخطوات نحو خفض التعرض لنواتج الاحتراق داخل المبنى تـشمل استخدام شفاطات التفريغ (Exhaust fans) فوق مواقد الغاز لإعـداد الطعـام، التفتـيش ومراجعة الغازات العادمة من الأفران والمداخن سنوياً.

الرادون : (Radon)

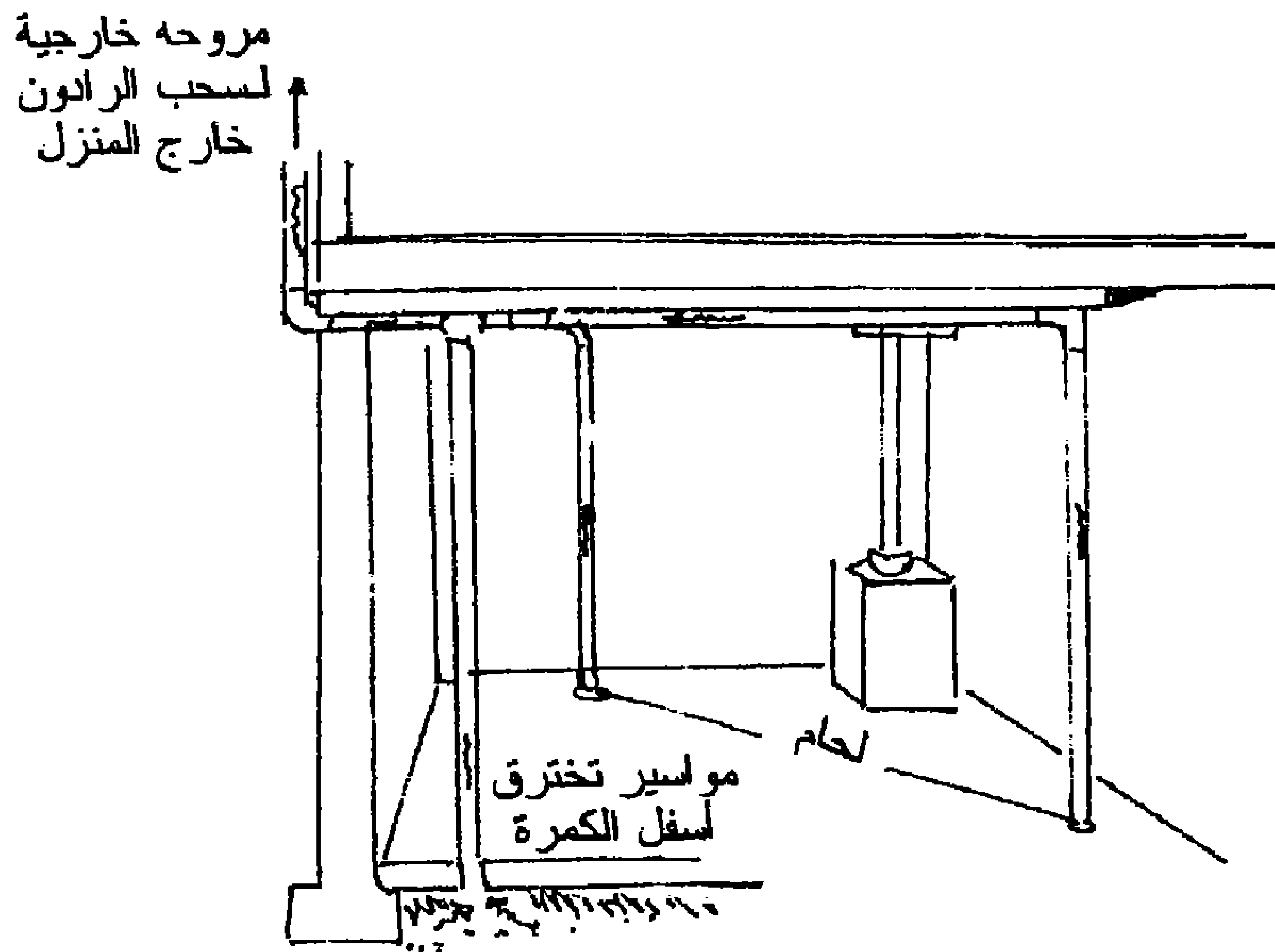
الرادون هو غاز مشع لا لون له ولا رائحة وهو جزء من عملية التحلل الطبيعى التى تبدأ باليورانيوم والراديوم. وهو يوجد بتركيزات مختلفة فى التربة والصخور التى تشكل القشرة الأرضية. نظراً لأنه غاز فإن الرادون ينساب بسهولة خـلال التربـة المسامية والشقوق الصخرية. عند وصوله إلى سطح الأرض فإن الغاز يتشتت وينتشر ويتم تخفيفه إلى تركيزات منخفضة جداً فى متقبة التى تحتوى علـى الفحـم النبـاتى أو الحيـوانى (Charcoal) لتمتص أو تصفى سـموم الهـواء والتـى تـسمى (Charcoal Canister)، ومكتشف مسار ألفا (Alpha Track Detector). علبة حبيبات الفحم المثقبـه توفر نتائج سريعة (٣ إلى ٧ يوم) مقارنة بمكتشف مسار ألفا (٣٠ إلى ٩٠ يوم) وهو أكثر استخداماً. يقدر تركيز الرادون بوحدات بيكورى فـى اللتـر (Pci/L - Picouries/Litre). الكورى (Ci) هو وحدة الإشعاع الأساسية والتى تقابل تقريباً معدل التحلل لواحد جرام من الراديوم. واحد بيكوكورى وهو أصغر وحدة يقابل لتحلل حوالى ذرتين فى الدقيقة (البيكو = 10^{-12}). يمكن كذلك التعبير عن تركيزات الرادون بمستوى الشغل (Working Level) حيث مستوى الشغل قيمته واحد يساوى ١٠٠ بيكوكورى/اللتر. مستويات الشغل مرتبطة تاريخياً ببيانات سرطان الرئة لعمال المناجم تحت الأرض، حيث كثير مـن المعلومـات المتعلقة بتأثيرات الرادون داخل المبانى وتأثيراته تم تقديرها.

طرق العلاج لخفض التعرض للرادون داخل المبنى متاحة. لقد وضعت وكالة حماية البيئة مستوى مقرر لعملية العلاج عند ٤ بيكوكورى/اللتر، مجتمعات أخرى مثـل كنـدا وفنلندا لم توص بعمليات للعلاج إلا فى حالة وصول مستويات الرادون لأكثـر مـن ٢٠ بيكوكورى/ اللتر. كل العلماء وافقوا على أن التعرض للمستويات العالية ولمدة طويلة من الرادون يشكل خطورة، ولكن يظل عدم التأكيد نحـو مخـاطر التعـرض للمـستويات المنخفضة. لا توجد علاقة مؤكدة بين سرطان الرئة والرادون فى المنازل فى الدراسـات العالمية.

بالنسبة للرادون فى المياه الجوفية، المشكلة ليست فى شرب الماء، ولكن فى استنشاق الغاز المنطلق. مستوى ١٠٠٠٠ بيكورى للرادون فى الماء سوف ينـتج حـوالى واحـد بيكورى/للتر للرادون فى الهواء داخل المبنى. طبقاً لقانون مياه الشرب الآمنة فإن أقصى مستوى تلوث من الرادون هو ٣٠٠ بيكورى،اللتر. يمكن الإزالة السريعة للـرادون مـن الماء بالتهوية أو بالترشيح باستخدام الفحم النباتى أو الحيوانى المنشط. توجـد طريقتـان

لخفض مستويات الرادون داخل المبنى وهما خفض دخول الرادون إلى المبنى وإزالة الرادون بعد دخول المبنى. دخوله الرادون يمكن خفضه بعدة طرق. أحدهم هو بتغطية التربة المعرضة وقفل جميع الفتحات والوصلات والشقوق والفتحات الأخرى أسفل أو أعلى المنشأ.

طريقة أخرى هى بإنشاء لوح ثانوى (Subslab) ونظام محيطى لتهوية التربة. هذا النظام يعكس الاتجاه السائد لتدفق الهواء والذى يجئ بالرادون نحو المنزل. مقطع فى اللوح الثانوى موضح فى الشكل (٦/١٠).

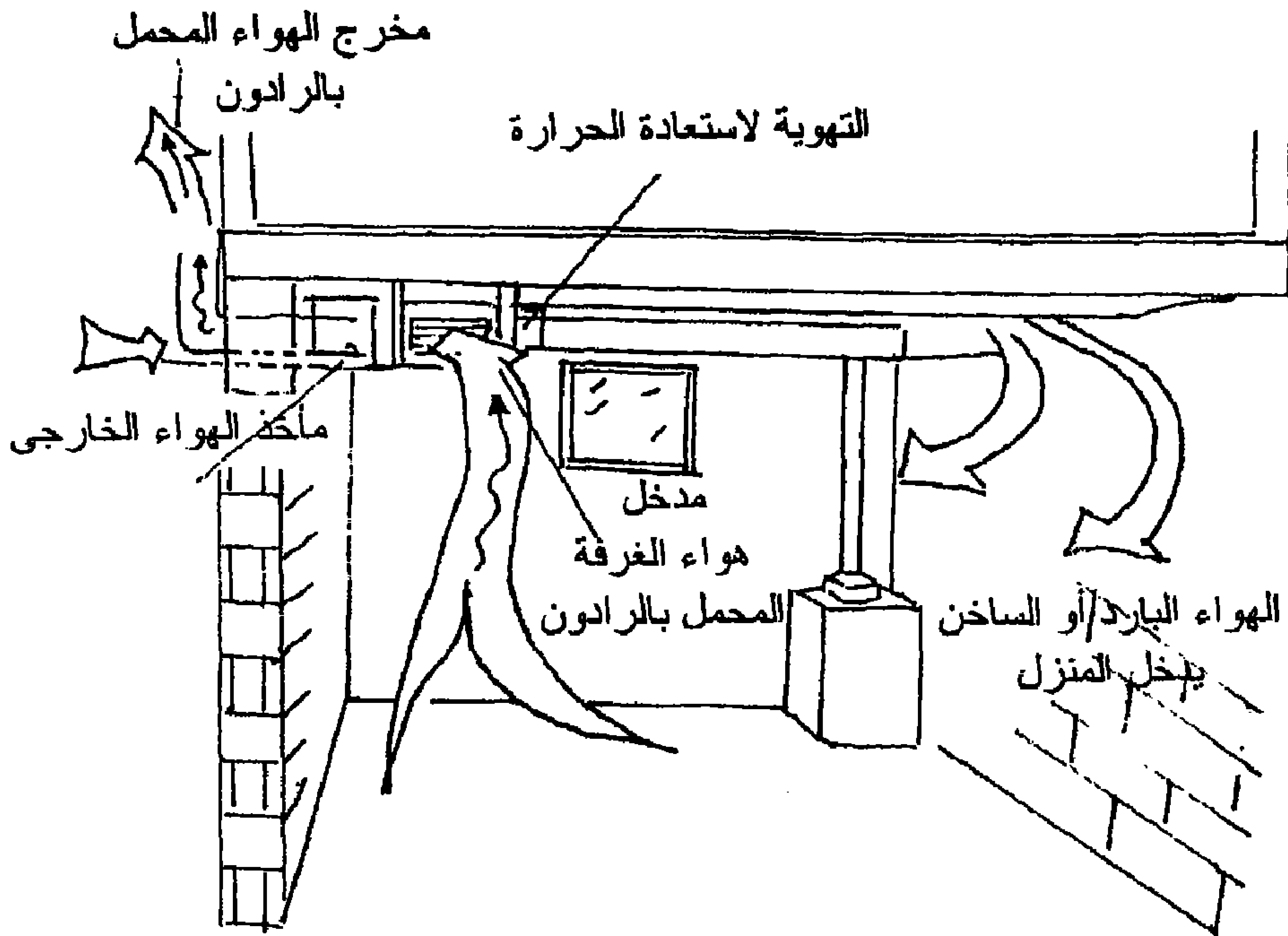


شكل (٦/١٠) التهوية أسفل البلاطة

الطرق الأخرى نحو خفض دخول الرادون تشمل تجنب استخدام مواد البناء التى يمكن أن تحتوى على الراديوم وإزالة الرادون من إمدادات مياه الشرب باستخدام التهوية أو الترشيح بالكربون المنشط. الطريقة المؤثرة لإزالة الرادون بعد دخول المنزل هى التهوية لمكان المعيشة الذى تأثر. التهوية بالهواء الخارجى يمكن أن يخفض مستويات الرادون داخل المبنى إلى حد كبير. إذا كانت مستويات الرادون ليست مرتفعة، فإن التهوية الطبيعية تكون كافية لإبعاد التلوث بالرادون.

التهوية عنوة تعتمد على استخدام مراوح لزيادة معدلات تبادل الهواء فى المبنى وذلك بدفع الهواء الخارجى إلى الداخل. التصميم الماهر، العزل، واختيار نظام التهوية بعنوة يكون لازماً لتأكيد أن نقط دخول الهواء ونقط سحب العادم فى اتزان، بخلاف ذلك يمكن

سحب رادون إضافي. استخدام التهوية سواء طبيعية أو عنوة تتحدد طبقاً لزيادة تكاليف الطاقة اللازمة للتسخين أو التبريد للمحافظة على ظروف المعيشة المريحة داخل المنزل. هذه المشكلة يمكن تخفيفها باستخدام التهوية باستعادة الحرارة كما هو موضح في الشكل (٦/١١). هذا النظام يسمى كذلك مبادل حرارى للهواء بالهواء، حيث تستخدم الحرارة في الهواء الخارجي لتدفئة الهواء الداخلي، ويمكن عكس العملية في حالة تكييف هواء المنزل في المناخ الحار. التهوية باستعادة الحرارة يمكن أن تقلل من استهلاك الطاقة بشكل كبير.



شكل (٦/١١) تهوية استعادة الحرارة

الأسبستوس :

الأسبستوس هو مادة توجد في الطبيعة تتكون من مركبات الأملاح المعدنية واستخدمت كمادة عزل ولمقاومة الحرائق في المباني. كثيراً من منتجات الأسبستوس تم إيقافه حيث أصبح استخدامه الآن محدوداً. في المباني القديمة مازال الأسبستوس موجوداً في المواسير وعزل الأفران، وفي ألواح الأسبستوس لأسقف المظلات وفي بلاط الأرضيات وفي بعض أنواع البويات ومواد الإنشاء الأخرى. في حالة محاولة قطع هذه المواد، أو ترميمها أو أى أنشطة أخرى فإنه يمكن حدوث معدلات عالية لتركيزات الاسبستوس في الهواء. المحاولات الغير متقنة لإزالة هذه المواد يمكن أن تمكن شعيرات

الاسبستوس من الدخول إلى المبنى مع الهواء. كخطوط إرشادية فإن متوسط مستويات الأسبستوس يجب ألا تزيد عن ٠,١ شعيرة فى اللتر وذلك للشعيرات أطول من ٥ مليميكرون.

فى حالة استنشاق شعيرات الاسبستوس الصغيرة جداً فإنها تتراكم فى الرئة. الآثار الضارة بالصحة يمكن أن تستغرق عدة سنين لتحدث وتشمل ندبات فى الرئة وسرطان للصدر، وسرطان الرئة ..الخ.

معظم الأمراض المرتبطة بالأسبستوس تكون بالتعرض المهنى، لتركيزات عالية من الشعيرات، ولكن المستويات العالية يمكن أن توجد كذلك فى المنزل. نظراً لأنه لا توجد خطورة من الاسبستوس إلا فى حالة حمل الشعيرات بالهواء الجوى، فإنه ينصح بترك مواد الأسبستوس كما هى أو بالتعامل معها عند الضرورة بواسطة مقاول مؤهل.

المواد العضوية من المنتجات المألوفة فى المنزل :

الكيماويات العضوية تستخدم على نطاق واسع كمكونات للبويات والورنيشات، المواد الشمعية، مواد النظافة، مستحضرات التجميل، المبيدات للحشرات، مواد اللهو، ومنتجات أخرى تستخدم فى المنزل. كلها يمكن أن تطلق مركبات عضوية فى الهواء عند استخدامها وإلى حد ما عند تخزينها. من بين المنتجات المألوفة فى المنزل هذه يوجد التتراكلوروايثيلين، الميثيلين كلورايد، (Paradichlorbenzene) بالإضافة إلى العديد من الكيماويات الضارة. الآثار الصحية تختلف كثيراً طبقاً لمستوى التعرض وطول وقت التعرض. بعض من هذه المواد شديدة السمية أو مسرطنه، والبعض الآخر له تأثير على الصحة العامة. حساسية العين والجهاز التنفسى، الصداع، الدوار، مشاكل الإبصار، وضعف الذاكرة هذه من بين الأعراض التى تحدث بعد التعرض لبعض المواد العضوية.

الاستخدام المنزلى للمبيدات هو مصدر للمواد العضوية فى الهواء الداخلى. المبيدات المستخدمة عادة تشمل المنتجات المقاومة للذباب والحشرات، الفطريات، القوارض مثل الجرذان، النمل الأبيض. وهذه تباع فى شكل عبوات للرش (Spray)، أو فى شكل سائل، أو مسحوق أو بللورات صلبه. كل هذه المنتجات خطيرة فى حالة عدم استخدامها بحذر. منظمة حماية البيئة (EPA) طالبت منتجى المبيدات بوضع المعلومات على ملصقات بالنسبة للاستخدام الآمن. لقد انتهى السماح باستخدام الكلوردين، الألدرين، الداى ألدرين، الهبتاكلور للاستخدام المنزلى والتجارى.

الفورمالدهايد :

الفورمالدهايد هو من الكيماويات العضوية المستخدمة فى كثير من مواد البناء ومنتجات أخرى منزلية. وهو كذلك من بين نواتج الاحتراق الثانوية وقد يكون موجودا بكميات ملحوظة فى الهواء داخل المبنى.

وهو يستخدم كمثال لإضافة نوعية الانضغاط المستمر أى التجعد لبعض المنسوجات (Drapes)، وكمكون للغراء ومواد اللصق، وكمادة حفظ لبعض البويات ومواد التغطية. من بين أهم المصادر المألوفة فى المنزل للفورمالدهايد هى منتجات الخشب المضغوط الذى تصنع باستخدام مواد اللصق المحتوية على راتنج اليوريا فورمالدهايد.

الفورمالدهايد هو غاز لا لون له وذو رائحة حادة التى يمكن أن تسبب حساسية للعين والحنجرة، غثيان مثل دوار البحر، ضيق التنفس لبعض المعرضين للتركيزات العالية. لقد ثبت أنه مسرطن للحيوانات وأنه يمكن أن يكون مسرطناً للإنسان. متوسط التركيزات فى المنازل القديمة (الانبعاثات تنخفض عموما مع الوقت) هى عموما أقل من ٠,١ ملجرام/ المتر المكعب. فى المنازل الموجود بها كميات كبيرة من الخشب الجديد المضغوط فإن المستويات قد تزيد عن ٠،٣ ملجرام/المتر المكعب. الخطوط الإرشادية المقترحة للمستويات هى ألا تزيد عن ٠,١٢ ملجرام/المتر المكعب.

تزداد انبعاثات الفورمالدهايد مع الحرارة والرطوبة. لذلك فإن استخدام مزيلات الرطوبة والمكيفات يمكن أن يساعد فىخفض التركيزات داخل المبنى. زيادة معدلات التهوية تقلل كذلك من مستويات الفورمالدهايد فى المنزل. استخدام الخشب المضغوط المصنوع من الفينول فورمالدهايد وليس من اليوريا فورمالدهايد يساعد فى خفض انبعاثات الفورمالدهايد.

الرصاص :

الرصاص ملوث ضار بالبيئة. يمكن تعرض الإنسان للرصاص فى مياه الشرب والغذاء وكذلك غبار الرصاص فى الهواء. المصدر الرئيسى لغبار الرصاص هى البويات القديمة ذات الأساس من الرصاص وهى تمثل تهديداً لصحة الأطفال. يمكن للرصاص أن يصبح محمولاً فى الهواء وذلك فى حالة عدم الإزالة الصحيحة للبويات ذات الأساس من الرصاص من الأسطح بالكشط، أو الترميل أو الحرق. فى عام ١٩٧٨ تم منع استخدام

البويات ذات الأساس من الرصاص بواسطة مؤتمر حماية منتجات المستهلك. البويات القديمة ذات الأساس من الرصاص وفى حالة جيدة ليست مشكلة عموماً حيث يمكن تركها بدون مساس. غبار الرصاص من التربة الملوثة الذى يصل إلى المنزل يمكن كذلك أن يسبب مستويات عالية من الرصاص فى الهواء.

عند المستويات العالية، يمكن للرصاص أن يسبب التشنجات، الغيبوبة وحتى الموت. المستويات المنخفضة يمكن أن يكون لها تأثير ضار على المخ، الجهاز العصبى المركزى، خلايا الدم، الكلى. الأطفال خاصة هم المعرضون لأن الرصاص يسهل امتصاصه فى أجسامهم. التأثيرات الضارة للرصاص على الأطفال تشمل تأخير النمو الطبيعى والعقلى.

الملوثات البيولوجية :

الملوثات البيولوجية التى يحملها الهواء تشمل البكتريا، الفطريات، الفيروسات، سوس غبار المنزل، بذور اللقاح، المواد الدقيقة جداً الأخرى أو نواتج الأنشطة الحياتية. يوجد كثير من مصادر هذه الملوثات البيولوجية. نظم التبريد أو التدفئة المركزية تصبح أرضيات للتكاثر ثم تنتشر هذه الملوثات خلال المنزل. المياه الراكدة، أو المواد التالفة بفعل الماء أو الأسطح المبتلة يمكن كذلك أن تكون أرضيات للتكاثر.

التفاعلات الحساسة، مثل الضعف وفقد القوة، التهاب الأنف أو الغشاء النخامى يمكن أن توقف كذلك بواسطة ملوثات كثيرة بيولوجية فى الأشخاص ذوى الحساسية. الأمراض المعدية مثل الانفلونزا، الحصبة، ومرض مثل الجدرى (Chicken Pox) يمكن انتقالها بواسطة الهواء، وبعض الفطريات تطلق سميات مسببه للأمراض التى تصبح محمولة فى الهواء. وفاة ٢٩ من زوار فندق فى الفليبين فى عام ١٩٧٦ هو مثال لمخاطر التلوث، حيث نظام التهوية فى الفندق كان ينشط تكاثر بكتريا اللجيونيلا (Legionella).

يمكن خفض نمو بعض أنواع الملوثات البيولوجية بالتحكم فى الرطوبة النسبية فى المنزل، الرطوبة النسبية ما بين ٣٠ – ٨٠% يوصى بها. شفاطات سحب هواء المطابخ والحمامات إلى الخارج تعمل على إبعاد الرطوبة التى تتراكم نتيجة الأنشطة اليومية. طبيعى فإن المحافظة على نظافة المنزل ستساعد كذلك فى خفض الملوثات البيولوجية.

الأعراض المرضية الملازمة للمبنى : Sick Building Syndrome

تلوث الهواء داخل المبنى ليس مقصوراً على المساكن المستقلة، كثيراً من المبانى متعددة الأدوار التجارية والإدارية بها مشاكل كبيرة بالنسبة لنوعية الهواء. بعض الأمراض المعروفة كانت بسبب مشاكل بناء معينة. وهذه تسمى الأمراض المتعلقة بالمبنى

(Building Related Diseases). عند وجود أعراض لدى سكان المبنى التى لا تتطابق مع أى مرض معين والتى يصعب تتبع مصدرها فإن هـذه الظـاهرى تـسمى الأعـراض المرضية الملازمة للمبنى. هذا المصطلح ينطبق على المبنى عندما يشكو أكثر من ٢٠% من السكان من مشاكل صحية لمدة أسبوعين أو أكثر وأن الأعراض تنتهى عنـد تـرك السكان للمبنى. يقدر أنه حوالى ٣٠% من المبانى التجارية الجديدة أو التى تـم تجديـدها تسبب الأعراض المرضية الملازمة للمبنى. المشاكل الصحية تشمل العطاس، الإجهـاد، الصداع، الدوار، الغثيان، ودوار البحر، جفاف الحلق، الحساسية.

مصادر تلوث الهواء فى المبانى التجارية تشبه تلك الموجودة فى المنـزل. الـسبب الرئيسى فى الأمراض الملازمة للمبنى هو سوء التصميم، الاستخدام، أو الصيانة لتنظـيم التهوية المعقدة اللازمة للتسخين، التبريد وتدوير الهواء خلال كل المبنى الضخم.

تظهر مشاكل التهوية عند العمل على المحافظة على الطاقة، حيث تكون كمية تبادل الهواء الخارجى مع الهواء الداخلى غير مناسبة. كذلك تظهر المشاكل فى حالـة مـداخل ومخارج الهواء فى كل غرفة تكون مسدودة أو تكون موضوعة بشكل غير صحيح. فـى الأوضاع الغير مناسبة فإن مداخل الهواء الخارجى يمكن أن تسحب عـادم الـسيارات، انبعاثات الغلايات، أو حتى الهواء الخارجى من غرفة المعيشة. نظام التهوية نفسه يمكن أن يكون مصدرا للتلوث، حيث تنتشر الميكروبات التى تنمـو علـى الـسطح الـداخلى للأنابيب، وكذلك فى وحدة الترطيب، وإزالة الرطوبة، ومكيفات الهواء.

أخيراً فإن تلوث الهواء يمكن تدويره داخل المكاتب فى المطاعم، المطابع، مخـازن الغسيل الجاف الموجودة فى نفس المبنى، بالإضافة إلى الغازات العادمة مـن جراجـات انتظار السيارات تحت الأرض. خفض الأعراض المرضية الملازمة للمبنى عادة لا يـتم علاجها تماماً بدون الأبحاث والدراسات المكثفة نحو نوعية الهواء. هذه الأبحاث قد تبـدأ باستجوابات ومكالمات تليفونية لتقييم درجة تعرض السكان. نظام التهوية هو العامل الهام فى عملية الدراسة والبحث، حيث التهوية الغير مناسبة تسبب ٥٠% من هذه الأعـراض. اختبارات نوعية الهواء تساعد فى التعرف على الملوثات، ولكن أخـذ عينـات الهـواء وتحليلها ليس دائماً مؤثرا فى حل المشكلة بسبب المستويات المنخفضة جداً للملوثات.

٦- أخذ عينات الهواء وقياساتها : Air Sampling and Measurement

لتقييم نوعية الهواء وللنظام الكفؤ للتحكم فى تلوث الهواء، فإنه يلزم تعيين معـدلات الانبعاث من مصادر التلوث وتحليل نوع وكميات الملوثات فى الغاز والهواء المحيط وقبل

عمل مثل هذه القياسات فإنه يلزم جمع العينات المناسبة. التقدير الكمى لنوعية الهواء يتطلب التعيين الدقيق لتركيز الملوثات، والتى يعبر عنها بالنسبة بين كتلة الملوث وحجم الهواء أو الغاز الذى يوجد به. قياسات الكتلة تتم أساساً فى معامل تحاليل، بينما تعيين الحجم يتم عادة فى الموقع فى توقيت أخذ العينات. توجد مئسات من الطرق وأنواع القياسات التى يمكن أن تقيس كتلة الملوث. بعض الأجهزة تحتاج إلى مليجرامات قليلة من الملوث للتحليل الدقيق، بينما أخرى يمكنها الكشف والقياس الدقيق لكميات صغيرة جداً، حتى حوالى عدة جزيئات. يوجد كذلك كثيراً من الطرق والتجهيزات لقياس الحجم، السرعة ومعدل التدفق. اختيار التقنية لأخذ العينات وقياس الكتلة والحجم يتوقف على خواص عينة الغاز أو الهواء والملوثات المحددة المطلوب تحليلها. الغرض من هذا البند هو لتوضيح بعض من هذه التقنيات المرتبطة بأخذ عينات الهواء وقياساتها.

طرق أخذ عينات الهواء :

توجد ثلاثة أنواع محددة لأخذ عينات الهواء وهى أخذ العينات من المصدر، أخذ العينات فى الهواء المحيط، أخذ العينات من داخل المبنى.

أخذ العينات من المصدر:

أخذ العينات من المصدر (أو الانبعاثات) يتم فى مكان صرف الملوث، مثل الغاز العادم من المداخن، نظام التهوية، شكمان عادم السيارة، أخذ العينات من المصدر يسمى كذلك أخذ عينات الدخان عند محطات إنتاج الطاقة، حرق المخلفات الصلبة، أو المصانع حيث يأتى الصرف من المدخنة.

الغرض الرئيسى لأخذ العينات من المصدر هو لتقدير صرف الملوث من مصدر إنتاج معين للملوث واستخدام النتائج لتعيين ما إذا كانت المواصفات القياسية للانبعاث مطبقة. مواصفات الانبعاث يمكن أن يتم وصفها بواسطة وكالة حماية البيئة، أو الدولة، أو المنتج أو أى وكالة أو جمعية مهتمة بشئون البيئة. الأغراض الأخرى لأخذ العينات من المصدر هى لجمع البيانات لتصميم وتشغيل معدات تنظيف الهواء ولقياس كفاءة التأثير لهذه المعدات.

للحصول على نتائج دقيقة وذات معنى نحو تعيين مكونات تدفقات الغاز فى مدخنة أو أنبوب، فإن تجهيزات أخذ العينات والخطوات يجب أن تحقق المتطلبات الرسمية المعروفة باسم طرق وكالة البيئة الإرشادية لاختبار مصادر إنبعاث الهواء الثابتة (EPA Reference

Methods For stationary source air Emission testing). عند التعامل مع مداخن أو مواسير عادم ضخمة يلزم أخذ عينات الغاز من أماكن متعددة فى مسار الغاز.

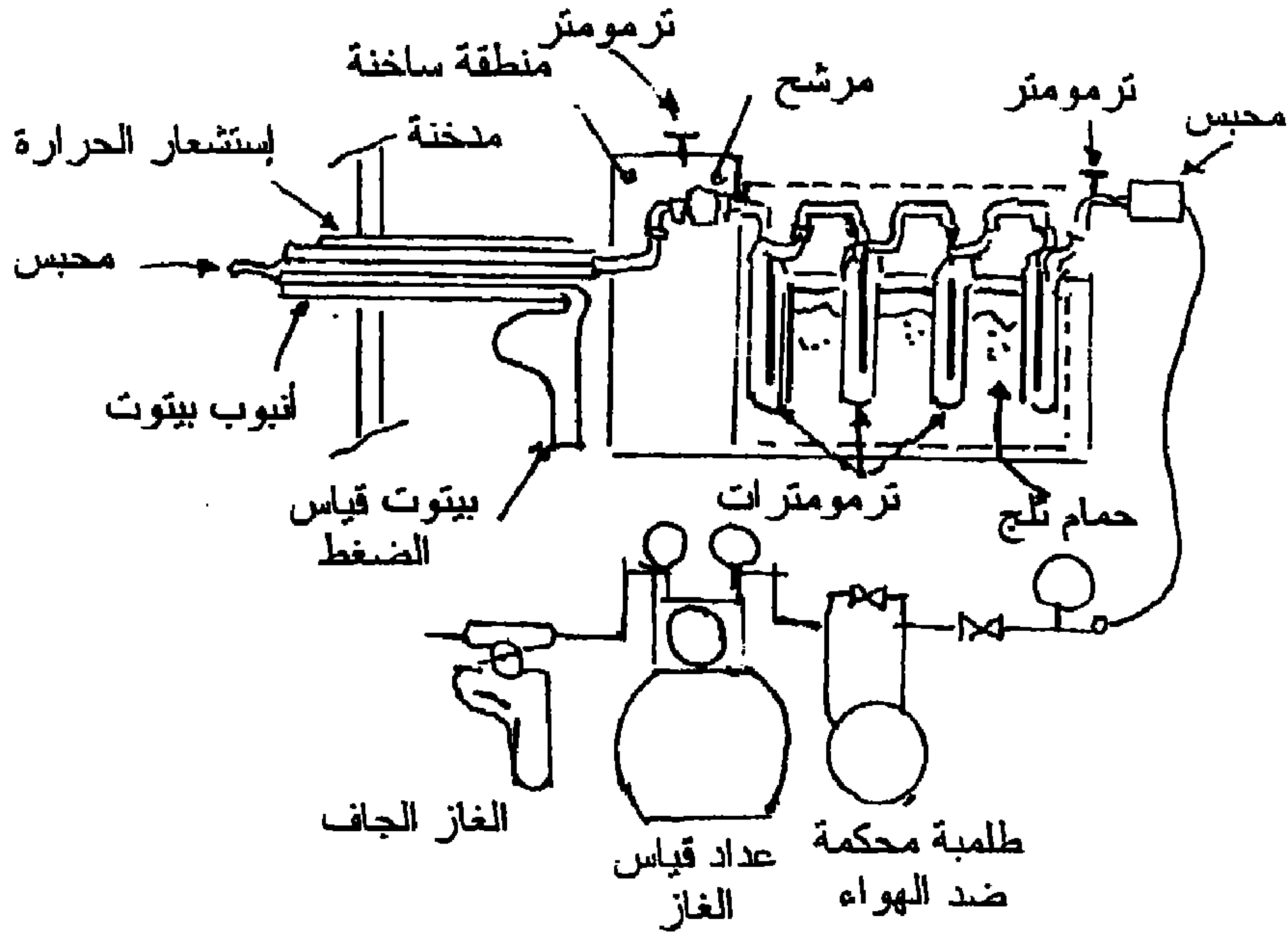
الطريقة رقم (١) لوكالة حماية البيئة (Environmental Protection Agency - EPA) توفر إرشادات محددة نحو اختيار المكان المناسب فى المدخنة لقياس السرعة والأخذ العينات من الملوثات.

الطريقة (٢) تتناول استخدام أنابيب بيتوت (Pitot Tubes) لقياس السرعة، الطريقة (٣) لوصف طرق كثيرة لقياس خواص الغاز ولحساب متوسط الوزن الجزيئى لخليط الغاز الجاف (كما هو مطلوب لحسابات السرعة). غاز عادم المدخنة يحتوى معظمه على النيتروجين. وثانى أكسيد الكربون، الأكسجين، وأول أكسيد الكربون، وبخار الماء هذا الخليط يسمى (Carrier Gas) أى الغاز الحامل. الملوثات المطلوب قياسها تكون منتشرة فى حامل الغاز فى شكل كميات صغيرة جداً. التجهيز المسمى (Orsat analyser) هو أحد الأجهزة المشار إليها فى الطريقة رقم (٣). يمكنها قياس النسبة الحجمية لمعظم مكونات الغاز العادم وبما يمكن من حساب متوسط الوزن الجزيئى. نظراً لأن التحليل الكيماوى بواسطة (Orsat analyser) يستغرق وقتاً طويلاً. الطريقة (٣) لوكالة حماية البيئة استخدمت تجهيزات إضافية منها (Fryite flue Gas andalyser) وجهاز تحليل الغاز الكهربى أو الذى يعمل بالبطارية والذى يستخدم الامتصاص الانتقائى للأشعة فوق البنفسجية لقياس مكونات الغاز. الطريقة رقم (٤) تقيس محتوى الغاز من الرطوبة وتمكن من حساب الوزن الجزيئى الكلى.

الطريقة رقم (٥) لوكالة حماية البيئة هى من أهم طرق القياس للمصدر، حيث تختص بتعيين انبعاثات الجسيمات. من أهم متطلبات الطريقة رقم (٥) هى أن عينة الغاز يجب أن تؤخذ متساوية الحركة (Isokinetically) لتأكيد أن العينة ممثلة حقيقية لغاز المدخنة. العينة متساوية الحركة هى تلك التى فيها سرعة تدفقات الغاز الداخلى إلى جهاز أخذ العينة تساوى سرعة الغاز الحامل (Carrier Gas). يجب معرفة درجة الحرارة، الضغط، الحجم الكلى لمعدل تدفق الغاز الذى تؤخذ منه العينة، كذلك تلك لتدفق الغاز الرئيسى. ليكون اختيار الانبعاث مقبولاً، فإن سرعة أخذ العينات يجب أن تكون خلال ١٠% لمتوسط سرعة غاز المدخنة. تجهيزه أخذ العينات لطريقة وكالة حماية البيئة رقم (٥) موضحة فى الشكل (٦/١٢).

أخذ عينات الجو المحيط : (Ambient sampling)

أخذ عينات الجو يختص بقياس مستويات التلوث خارج المبنى. تؤخذ العينات من الهواء بعد الخلط الجيد للملوثات من المصادر المختلفة بفعل الظروف الطبيعية. أخذ العينات من الهواء المحيط يوفر مساحة كبيرة عن بيانات نوعية الهواء في المناطق الحضرية وفي المدن وتساعد كأساس في تقييم الآثار الصحيحة، وتعين مدى التوافق مع مواصفات نوعية الهواء واستنتاج التأثيرات لمصادر التلوث المقترحة الجديدة.



شكل (٦/١٢) مسارات أخذ العينات الخمسة للجسيمات

أخذ العينات من داخل المبنى : Indoor sampling

أخذ عينات الهواء من داخل المبنى تشمل أخذ العينات من المنشآت الصناعية أو الورش لحماية صحة المحتمل تعرضهم للملوثات خلال يوم العمل. وكذلك أخذ الهواء من المباني السكنية لتوفير البيانات الخاصة بنوعية الهواء داخل المباني الخاصة لحماية صحة السكان.

الرصد (Monitoring) : يجب التفريق بين أخذ عينات الهواء ورصد الهـواء. أخـذ عينات الهواء يشير إلى الحصول على نوعية محتملة لكمية الهـواء الملـوث أو الغـاز الملوث لإجراء عمل التحاليل المعملية وتقييم أنواع وكميات الملوثات الموجودة. رصـد الهواء على الجانب الآخر يشير إلى جميع بيانات تركيز الملوثات على أسـس مـستمرة ومؤثرة. الأجهزة المستمرة (أو المتقطعة) متاحة للاستخدام مثل أجهزة رصـد غـازات المداخن، وكذلك تجهيزات رصد الهواء الجوى أو الهواء داخل المبنـى. ولكـن أجهـزة الرصد المستمر ليست لها الحساسية الكافية لقياس التركيزات المنخفضة جداً من الملوثات. بسبب خطورة الكميات الصغيرة من ملوثات العضوية أو السامة والتطوير الحديث لقوانين ملوثات الهواء السامة، فقد زادت أهمية جمع عينات الهواء التى يتم تحليلها معملياً بعـد ذلك. هذا بالتحديد خاص بأخذ عينات الانبعاثات والعينات من داخل المبنى.

وحدات القياس : (Units of Measurement)

تركيزات ملوثات الهواء عادة يعبر عنها بكتلة الملوث فى الوحدة الحجميـة لخلـيط الهواء، أى بالمليجرام فى المتر المكعب، أو فـى حالـة التركيـزات الـصغيرة جـداً بالميكروجرام فى المتر المكعب وكذلك بالنانوجرام فى المتر المكعب. تجهيزات التحاليل التى يمكنها كشف الكميات الصغيرة جداً من المـواد (Trace substances) فـى مجـال النانوجرام متاحة حالياً، النانوجرام هو واحد علىمليار من الجرام ($١٠^{-٩}$).

تركيزات الملوثات الغازية يمكن كذلك أن يعبر عنها بحجم الملوث لكل مليون حجـم من الهواء زائد خليط الملوث (جزء فى المليون) أو نسبة مئوية، حيث واحد جـزء فـى المليون = ٠,٠٠٠١% بالحجم. يكون أحياناً من الضرورى التحويل من وحدات حجميـة إلى كتلة في وحدة الحجم وبالعكس. العلاقة ما بين جزء فى المليون، ملجرام على المتـر المكعب تتوقف على كثافة الغاز، والتى بالتالى تتوقف على درجـة الحـرارة، الـضغط والوزن الجزيئى للملوث.

قيم التركيز يعبر عنها بالوحدات الحجمية (جزء فى المليون)، لا تختلف كثيراً مـع تغير درجة الحرارة والضغط. معايير نوعية الهواء المحيط التى أقرتها وكالة حماية البيئة (سيتم مناقشتها فى البند ٧) بنيت على أساس درجة الحـرارة ٢٥°م وضـغط ١ جـوى (ضغط واحد جوى يساوى ٧٦٠ مليمتر زئبق).

يمكن استخدام الآتى للتحويل بين جزء فى المليون وملجرام/المتر المكعب عنـد أى درجة حرارة أو ضغط.

$$\text{ملجرام / المتر المكعب} = \frac{\text{٢٧٣} \times \text{جزء فى المليون} \times \text{الوزن الجزيئى} \times \text{الضغط}}{\text{٢٢,٤} \times \text{درجة الحرارة}}$$

ببساطة يتم ضرب قيمة ملجرام/المتر المكعب × ١٠٠٠ للحصول على ميكروجرام على المتر المكعب.

الثابت ٢٢,٤ هو الحجم باللتر الذى يشغله واحد جزئ من الغاز المثالى فى الحالات القياسية (صفر درجة مئوية، واحد ضغط جوى). واحد جزئ من أى مادة هو كمية هذه المادة حيث كتلتها بالجرامات تساوى عدديا وزنها الجزيئى.

فى المعادلة السابقة يتم التعبير عن درجة الحرارة بوحدات درجة الحرارة المطلقة كلفن (Kelvins) = K حيث K = مْ +٢٧٣ ، والضغط يكون بالضغط الجوى

مثال رقم (١) :

إذا كانت حدود مستوى القياس كل ساعة للأوزون (O_3) كان ٠,١٢ جزء فى المليون. احسب هذا التركيز بالملجرام/المتر المكعب عند ٢٥°م وواحد ضغط جوى.

الحل :

الوزن الجزيئى للأوزون هو مجموع الأوزان الجزيئية لذرة الأكسجين أو ١٦ × ٣ = ٤٨ . درجة الحرارة كليفن هى ٢٥ + ٢٧٣ = ٢٩٨ كيلفن. باستخدام المعادلة السابقة

$$\text{ملجرام/م}^{٣} \text{ أوزون} = \frac{\text{٢٧٣} \times \text{٠,١٢} \times \text{٤٨} \times \text{١}}{\text{٢٢,٤} \times \text{٢٩٨}} = \text{٠,٢٣٥ ملجرام/م}^{٣}$$

مثال رقم (٢) :

إذا كانت حدود ثانى أكسيد الكبريت هى ٣٦٥ ميكروجرام/م٣ عند ٢٥°م وواحد ضغط جوى. عين هذا التركيز بالجزء فى المليون وكذا بالنسبة المئوية للحجم.

الحل :

الوزن الجزيئى لثانى أكسيد الكبريت هو مجموع الوزن الذرى لذرة الكبريت وذرتين من الأكسجين أى ٣٢ + ١٦ +١٦ = ٦٤ باستخدام المعادلة السابقة

$$0.365 = \frac{273 \times \text{جزء فى المليون} \times 64 \times 1}{22.4 \times 298} = 2.617 \times \text{جزء فى المليون}$$

للحل بالنسبة للتركيز بالجزء فى المليون ينتج

جزء فى المليون ثانى أكسيد الكبريت = ٠,٣٦٥ ÷ ٢,٦١٧ = ٠,١٤ جزء في المليون.

التركيز الحجمى لـ ٠,١٤ جزء فى المليون يكافئ ٠,١٤ حجم الغاز في ١ × 10^{6} أحجام من الخليط أو ٠,١٤ ÷ 10^{6} = ١٤ × 10^{-8}

لتحويل هذه القيمة إلىنسبة مئوية اضرب فى ١٠٠٠ لتحصل على ٠,٠٠٠٠١٤ %

مثال رقم (٣) :

عادم سيارة يحتوى على ٢,٢ % أول أكسيد الكربون ودرجة حرارته ٨٢°م. أحسب التركيز بالجزء فى المليون والمليجرام/م٣.

الحل :

الوزن الجزيئى لأول أكسيد الكربون CO هو ١٢ + ١٦ = ٢٨

تحويل ٢,٢% إلى جزء فى المليون كالآتى :

$$2.2 \times \frac{\text{واحد جزء فى المليون}}{0.0001\%} = 220000 \text{ جزء فى المليون}$$

درجة الحرارة كيلفن هى ٨٢ + ٢٧٣ = ٣٥٥ كيلفن، يفترض أن الغاز العادم عند الضغط الجوى.

باستخدام المعادلة السابقة

$$\text{ملجرام /م}^3 = \frac{273 \times 22000 \times 28 \times 1}{22.4 \times 355} = 21148 \text{ ملجرام/م}^3$$

هذا التركيز يكافئ ٢١,١ جرام على المتر المكعب، لأن ١جرام = ١٠٠٠ ملجرام. سيتم انخفاضه كثيراً عند انتشار الغاز فى الجو

مواصفات وكالة حماية البيئة هى فقط ١٠ ملجرام/م٣ فى المتوسط خلال فترة زمنية مدتها ٨ ساعات.

الجسيمات : Particulates

جمع وقياس الجسيمات العالقة فى الهواء يعتمد على مبادئ مختلفة كثيرة عن تلك المستخدمة فى تحليل الغازات. الكتلة وحجم الجسيمات هما مفتاح الخواص الطبيعية التى تؤثر على عملية أخذ العينات. الطرق الثلاث العامة لجمع وقياس جسيمات ملوثات الهواء التى تعتمد على الخواص الطبيعية هى تقنيات الوزن، الترشيح القصور الذاتى (Inertial). تقنية الوزن (جاذبية) هى أسهل طريقة ولكن يمكنها فقط قياس كمية الجسيمات القابلة للترسيب (الغبار والرماد) فى الهواء. التجهيزة الأساسية والغير مكلفة تسمى وعاء الغبار الساقط (Dust Fall Bucket) وهو مثال للطريقة الأولية المستخدمة فى تعيين كمية جسيمات المادة التى ترسب على الأرض.

فى هذه التقنية يتم تعريض الوعاء المفتوح المحتوى على الماء لاصطياد وحجز الجسيمات فى مكان مناسب، مثل سطح المبنى بعد زمن الجمع لحوالى ٣٠ يوم يتم تبخير الماء ووزن الجسيمات. النتيجة يمكن تقديرها بالجرام/ المتر المربع/الشهر، الكيلو جرام/ الهكتار/ الشهر، طن/ الميل المربع/ الشهر. كمية الغبار الكلى التى ترسب من الجو فى منطقة متحضرة يمكن أن تكون مرتفعة، حوالى ٥٠ طن/الميل المربع/ الشهر من سقوط الغبار الذى لوحظ فى بعض المدن. وعاء الغبار الساقط لاستخدامه سلبيات وهى طول الزمن اللازم لأخذ العينة. ولذلك استبدل بالجيل الثانى الأكثر دقة لتجهيزات أخذ العينات والمعروفة بأجهزة أخذ العينات عالية الحجم (High volume sampler). هذه التجهيزات التى تقلل من زمن أخذ العينات إلى ٢٤ ساعة تستخدم تقنية الترشيح وليس الوزن لاقتناص الجسيمات. حيث يقوم هذا الجهاز بسحب حجم كبير من الهواء خلال شعيرات زجاجية أو مرشح غشائى. يتم وزن المادة المرشحة قبل وبعد أخذ العينات، ومعدل سريان الهواء، والذى ينخفض تدريجياً مع تراكم الجسيمات على المرشح، يتم قياسه بدقة وتسجيله. يعبر عن النتائج بالميكروجرام/م٣. فى المدن إجمالى الجسيمات العالقة تكون بتركيز حول ١٠٠ ميكروجرام/م٣، ذلك رغم أن قيم ساعات الذروة قد تكون أضعاف هذه القيمة. فى المدن يكون المستوى عادة حوالى ٣٠ ميكروجرام/م٣. التقدير للنتائج بالميكروجرام/م٣ يمكن أن يعطى إحساساً أن كميات المادة صغيرة جداً أو مهملة. ولكن

قيمة ما يساوى ٢٠٠ ميكروجرام/م٣ تكافئ تقريبا واحد طن من الجسيمات لكل ميل مكعب من الهواء.

مثال رقم (٤) :

كتلة وعاء الغبار الساقط بقطر ٦ بوصة هو ١٢٠ جرام وهو فارغ. بعد ٣٠ يوم من التعرض فإن الوعاء والجسيمات التى تم جمعها لها إجمالى وزن يساوى ١٢٠,٣ جرام احسب سقوط الغبار.

الحل :

كتلة الجسيمات = ١٢٠,٣ - ١٢٠ = ٠,٣ جرام

مساحة الوعاء = $\frac{\pi D^2}{4}$ = $\frac{0.5^2}{4} \times \pi$ = ٠,١٩٦ قدم مربع

حيث أن واحد ميل = ٥٢٨٠ قدم، واحد رطل = ٤٥٤ جرام

وواحد طن = ٢٠٠٠ رطل

.. الغبار الساقط = (٠,٣ جرام/الشهر × رطل/٤٥٤جرام × ١ طن/٢٠٠٠ رطل) / (٠,١٩٦ قدم مرعب × ١ ميل مربع/ ٥٢٨٠ قدم مربع)

= ٤٧ طن/ الميل المربع/ الشهر.

كذلك حيث أن ١ قدم = ٠,٣٠٥ متر، ١ هكتار = ١٠٠٠٠م٢

.. الغبار الساقط = (٠,٣ جرام/الشهر × ١ كيلو جرام/ ١٠٠٠ جرام) / (٠,١٩٦ قدم مربع × (٠,٣٠٥متر)٢/١ قدم مربع/ ١ هكتار/١٠٠٠٠م٢)

= ١٦٥ كيلو جرام/هكتار/الشهر

مثال رقم (٥) :

تدفق الهواء خلال جهاز أخذ العينات عالى الحجم تم تسجيلة عند ٥٥ قدم مكعب فى الدقيقة عند بداية جمع العينة و ٣٦ قدم مكعب فى الدقيقة بعد ٢٤ ساعة من استمرار أخذ العينة. كان وزن المرشح ١٠٠٠٠ جرام قبل و ١٠٢٠٠ جرام بعد جمع العينة. ماذا كان إجمال المستوى الكلى للجسيمات العالقة (TSP) الذى تم قياسه فى جهاز أخذ العينات؟

الحل :

المعدل المتوسط لسريان الهواء خلال المرشح = ٥٥+ ٣٥ ÷ ٢ = ٤٥ قدم مكعب/الدقيقة.

إجمالى حجم الهواء المار خلال المرشح فى ٢٤ ساعة هو

٤٥ قدم مكعب فى الدقيقة × ٦٠ دقيقة × ٢٤ ساعة = ٦٤٨٠٠ قدم مكعب عند التحويل إلى متر مكعب فإننا نحصل على

٦٤٨٠٠ قدم مكعب × ٠,٠٢٨٣٢ متر مكعب/قدم مكعب

= ١,٨٣٥ × ١٠^{٣}متر مكعب

وزن الجسيمات = ٠,٢٠٠ جرام × ١٠^{٦}ميكرو جرام/الجرام

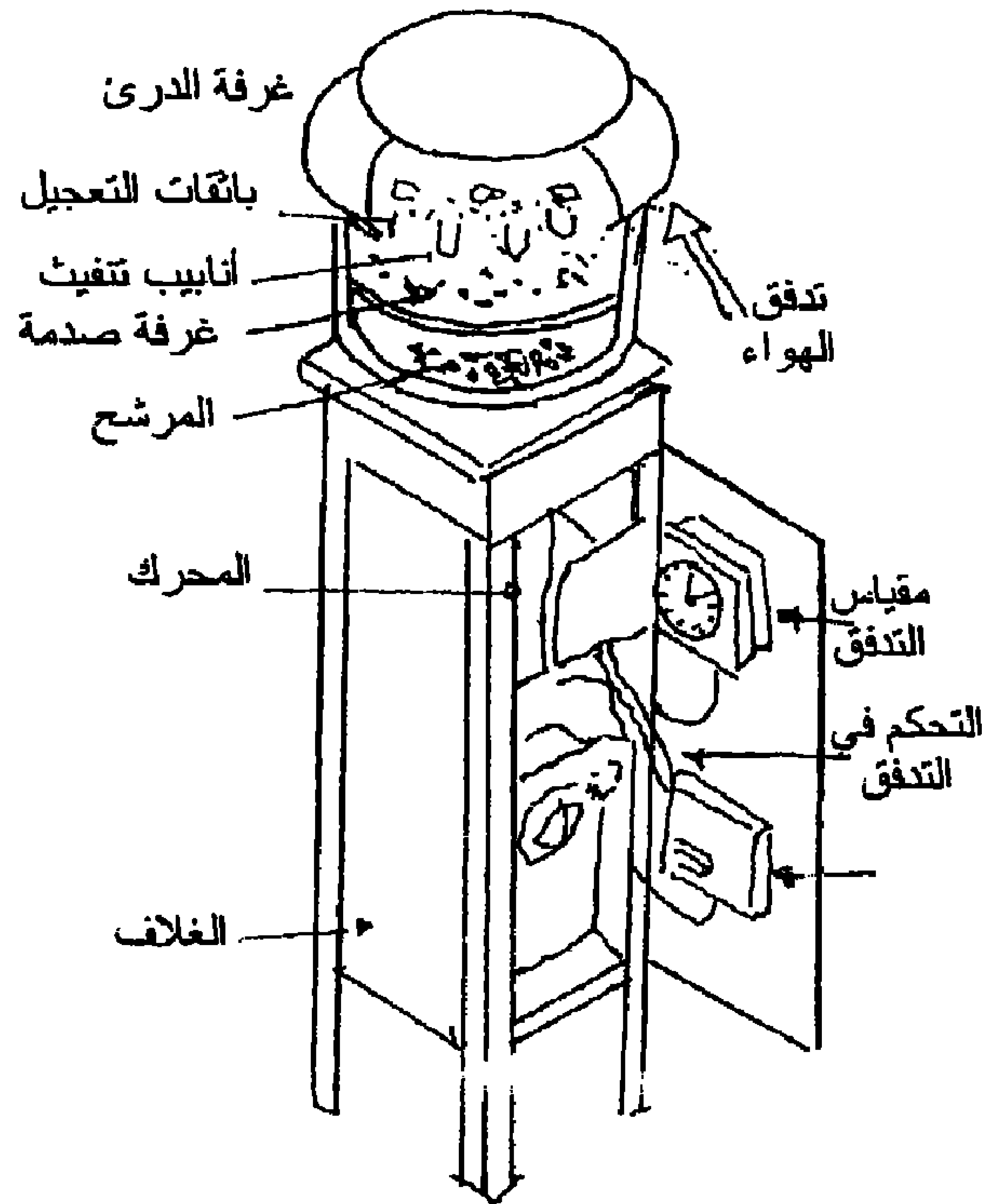
= ٢٠٠ × ١٠^{٣} ميكروجرام

$$\text{التركيز الكلى للجسيمات العالقة} = \frac{\text{٢٠٠ × ١٠}^{٣}\text{ ميكروجرام}}{\text{١٨٣٥ متر مكعب}}$$

= ١١٠ ميكروجرام/م٣

جهاز أخذ العينات ماركة (PM10)

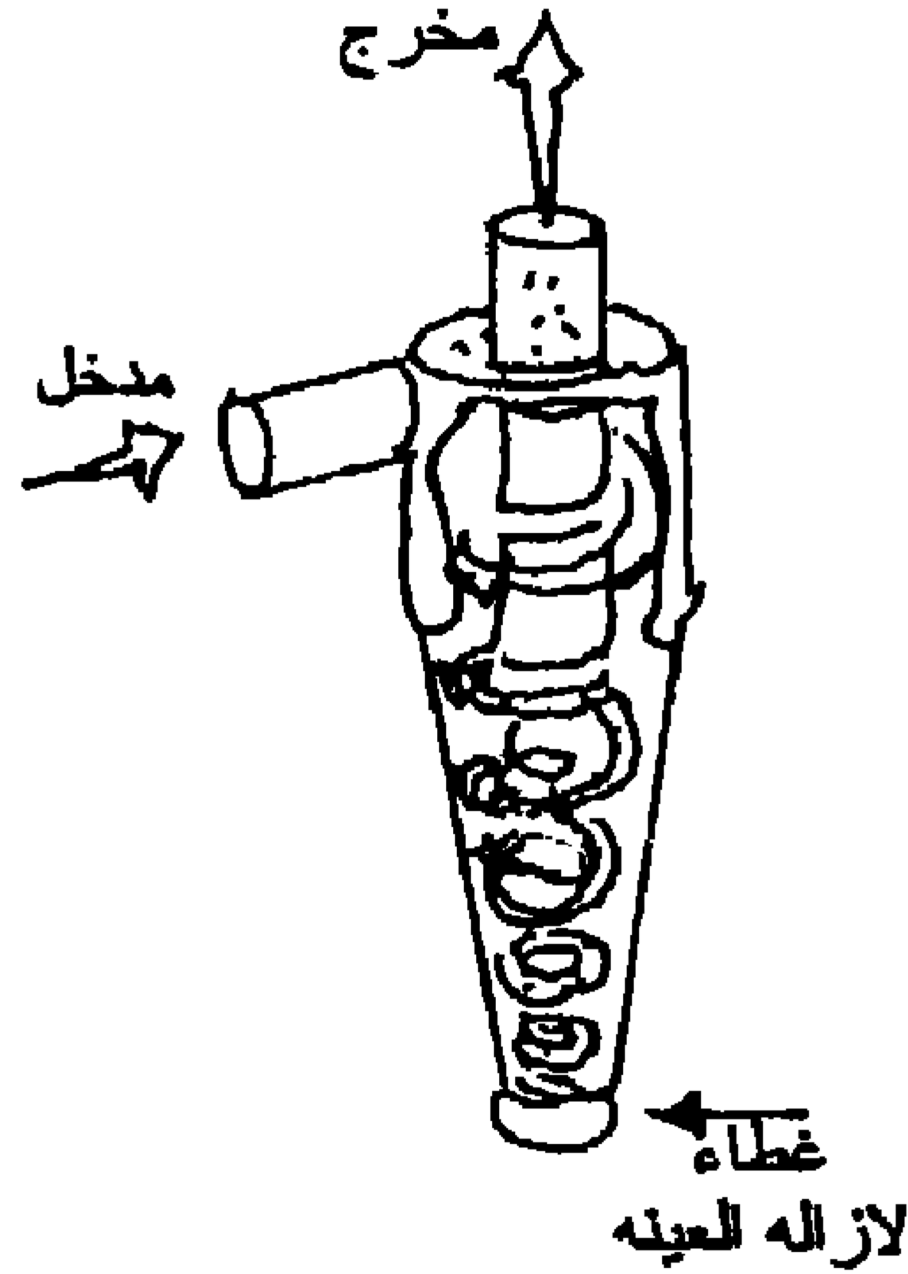
تستخدم أجهزة أخذ العينات كبيرة الحجم أساساً للحصول على عينات للجسيمات لتحليل المعادن، المواد العضوية، الكبريتات، ومركبات النترات. وهى تستخدم كذلك للتسجيل المستمر طويل المدى التاريخى لمستوى الجسيمات فى أماكن معينة. منذ ابتكار جهاز أخذ العينات عالى الحجم فى عام ١٩٤٠، حدث عديد من التطوير، شمل مواد ترشيح أفضل وكذلك تصميم نظام دخول الهواء. قياس مستويات الجسيمات فى الهواء المحيط يتم حالياً أساساً باستخدام جهاز أخذ العينات ماركة (MP10)، والذى هو تطور لتجهيزات الحجم الكبير. الرمز MP10 يشير إلى مادة الجسيمات تساوى أو أقل من ١٠ ميكرومتر فى الحجم، حيث وجد أن الجسيمات فى هذا المجال من الحجم ذات علاقة أولية بالنسبة للتأثيرات الضارة على الجهاز التنفسى للإنسان. تصمم مداخل جهاز PM10 لإزالة الجسيمات الأكثر فى الحجم قبل وصول العينة إلى المرشح، ومعدل التدفق يتم التحكم فيه وقياسه بواسطة أجهزة الإحساس الإلكترونية (Electronic sensors). الشكل (٦/١٣) يوضح تخطيطاً لجهاز أخذ العينات ماركة PM10.



شكل (٦/١٣) جهاز أخذ العينات كبير الحجم ماركة PM10

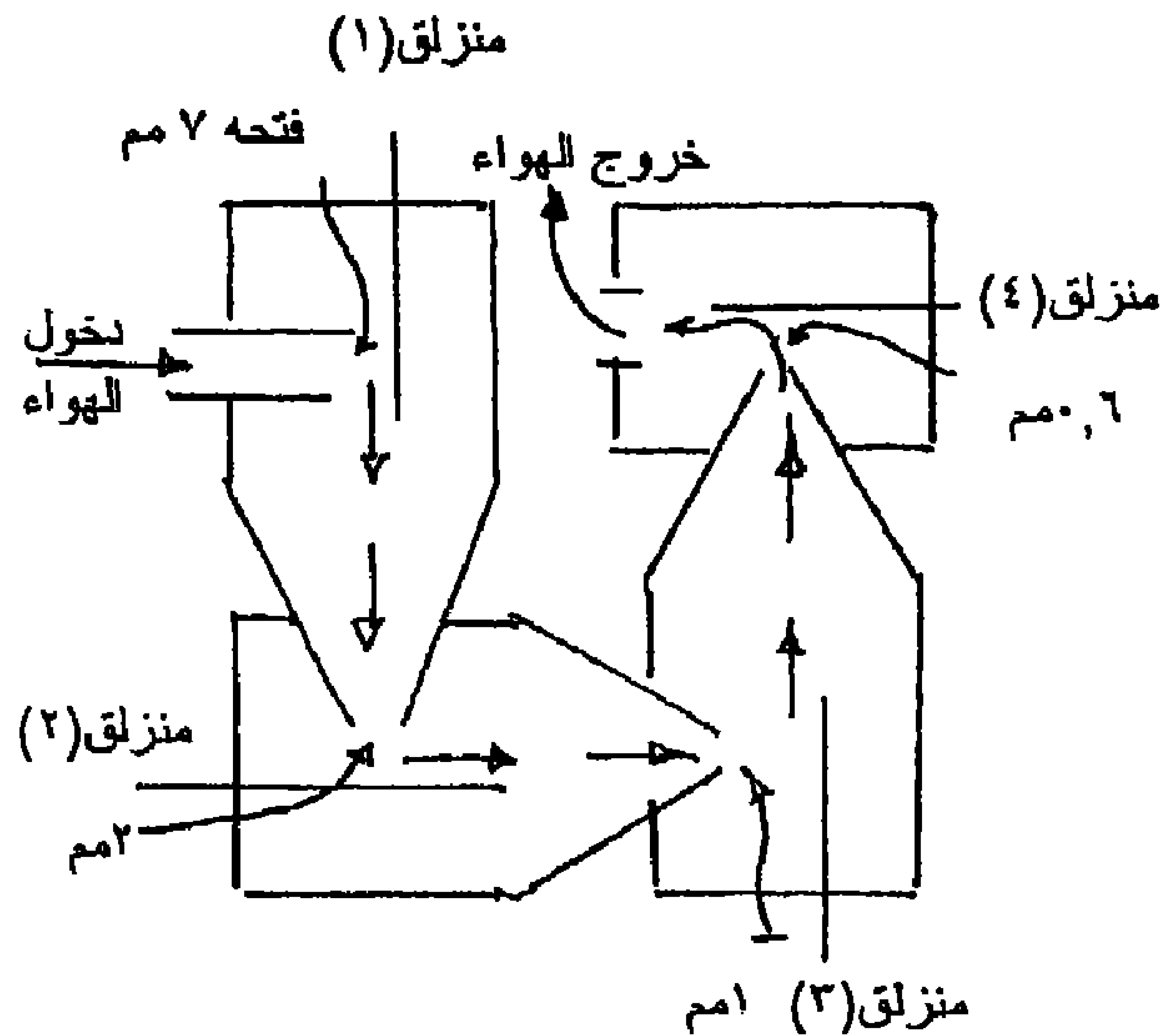
أجهزة أخذ العينات بالقصور الذاتي : (Inertial Sampler)

تعمل هذه الأجهزة بمبدأ أنه عند تغير اتجاه تدفق الهواء فجأة فإن القصور الذاتى للجسيمات سوف يجعلها ترتطم مع سطح التصادم الذى عليه يمكن حجزها. سطح التصادم يمكن أن يكون حصيرة من الصوف الزجاجى أو سطح صلب مغطى بالزيت ويكون تم وزنه قبل أخذ العينة ثم بعد أخذ العينة لقياس كمية المادة التى تم جمعها. سطح التصادم يمكن أن يكون ببساطة سطح صلب موازى تقريباً لسريان التيار، كما فى الجمع بالسيكلون الحلزونى الموضح فى الشكل (٦/١٤). هنا الجسيمات التى تصطدم تسقط نحو قاع الجهاز حيث يتم إزالتها ووزنها.



شكل (٦/١٤) جهاز السيليكون لجمع الجسيمات

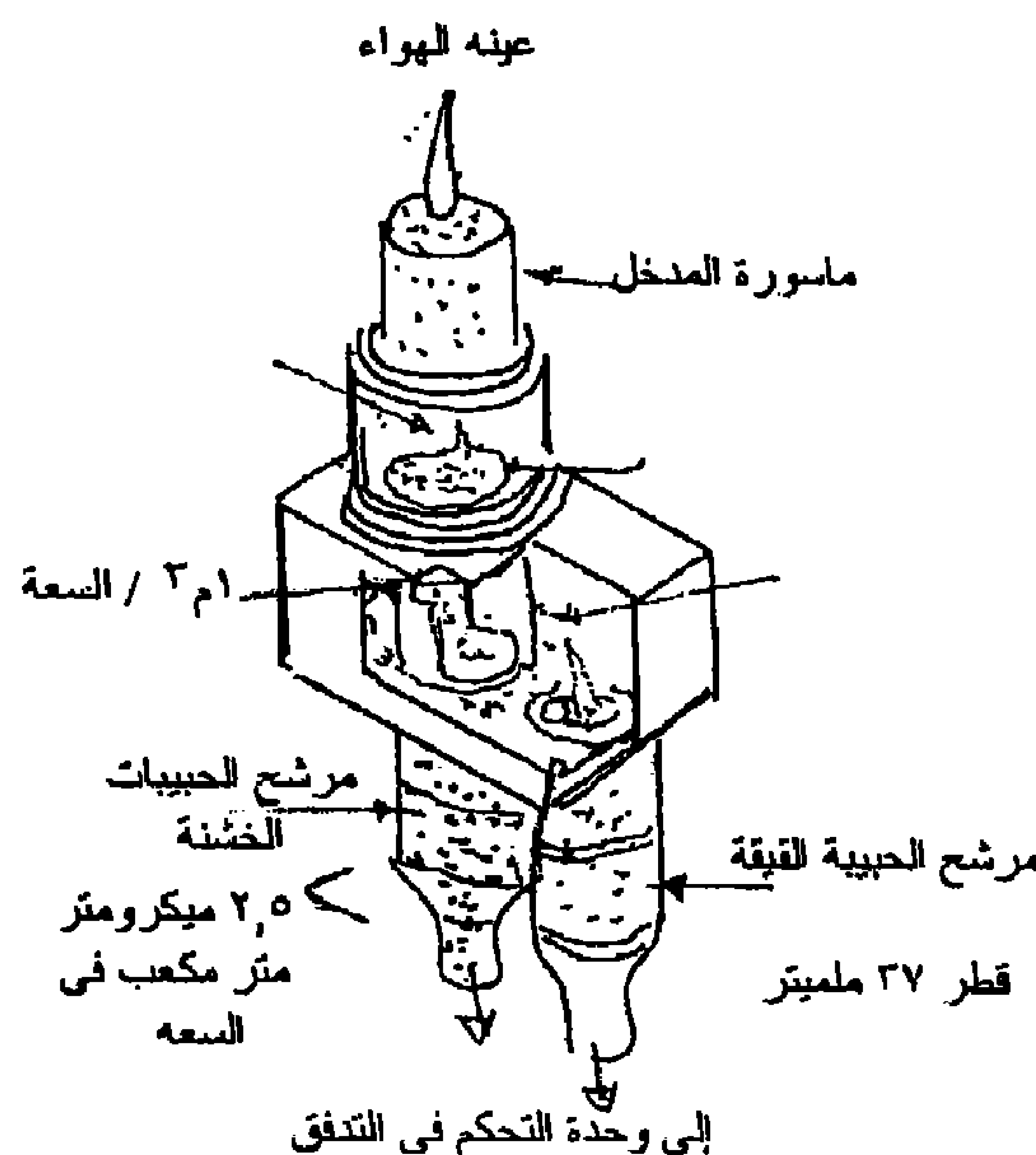
نوع آخر من تجهيز أخذ العينات بالقصور الذاتى المستخدم لجمع وتحليل جسيمات معينة، مثل حبوب اللقاح أو البكتريا، فى الصادم الهابط (Cascade Impactor) الموضع فى الشكل (٦/١٥). هذه التجهيزة تحتجز الأجسام على عدة شرائح الموضوعة فى مسار سريان الهواء. الثقوب الصغيرة التى يسرى الهواء خلالها ينخفض قطرها بالتدريج بما يزيد من سرعة التدفق. الأجسام ذات الأحجام المختلفة يتم احتجازها على كل شريحة بسبب القصور الذاتى للأجسام، التغير المفاجئ فى اتجاه التدفق واختلاف سرعات التدفق. يمكن ملاحظة الجسيمات وقياسها على الشرائح باستخدام المجهر.



شكل (٦/١٥) التصادم الهابط لجمع وتحليل جسيمات تلوث الهواء

أنواع أخرى لتجهيزات جمع الجسيمات :

وهذه تشمل جهاز زبد البولي إثيلين (فوم البولى إيثلين)، وجهاز أخذ العينات المتفرع إلى شعبتين (Dichotomous Ampler)، الذى يسمح بفصل الجسيمات إلى نوعين من الأحجام (ما بين ١٠ ، ٤٥ مليميكرون وأقل من ٢٥ مليميكرون للقطر). جهاز أخذ العينات ذو الشعبتين موضح فى الشكل (٦/١٦)، حيث يستخدم كلاً من الترشيح وتقنيات التصادم ليعمل. كل تجهيزات أخذ عينات الجسيمات تتطلب التحكم فى التدفق والقياس الدقيق لهذا التدفق، الوقت، حجم العينة.



شكل (٦/١٦) مخطط لجهاز أخذ العينات

قراءات الدخان : (Smoke Readings)

مخطط الدخان لرينجل مان (Ringleman Smoke chart) يمكن أن يستخدم لتعيين إذا كانت السحابة أو الدخان فى خلال الحدود المسموح بها (ولكن لا تستخدم للأتربة، الضباب). السحابات الكثيفة ترى عادة كإنبعاثات خارج السيطرة. كثافة السحابة تقارن بالرؤية البصرية إلى خمسة ظلال قياسية للرمادى، ما بين الأبيض والأسود، قراءة الدخان تتراوح من صفر (الكل أبيض) إلى ٥ (الكل أسود). الدخان الكثيف بدرجة متوسطة يقال له مثلاً رينجل مان ٣.القدرة على الحصول على قراءات دقيقة تحتاج إلى تدريب خاص ومهارات خاصة. المخطط يوضع على مسافة ١٥ متر من القائم

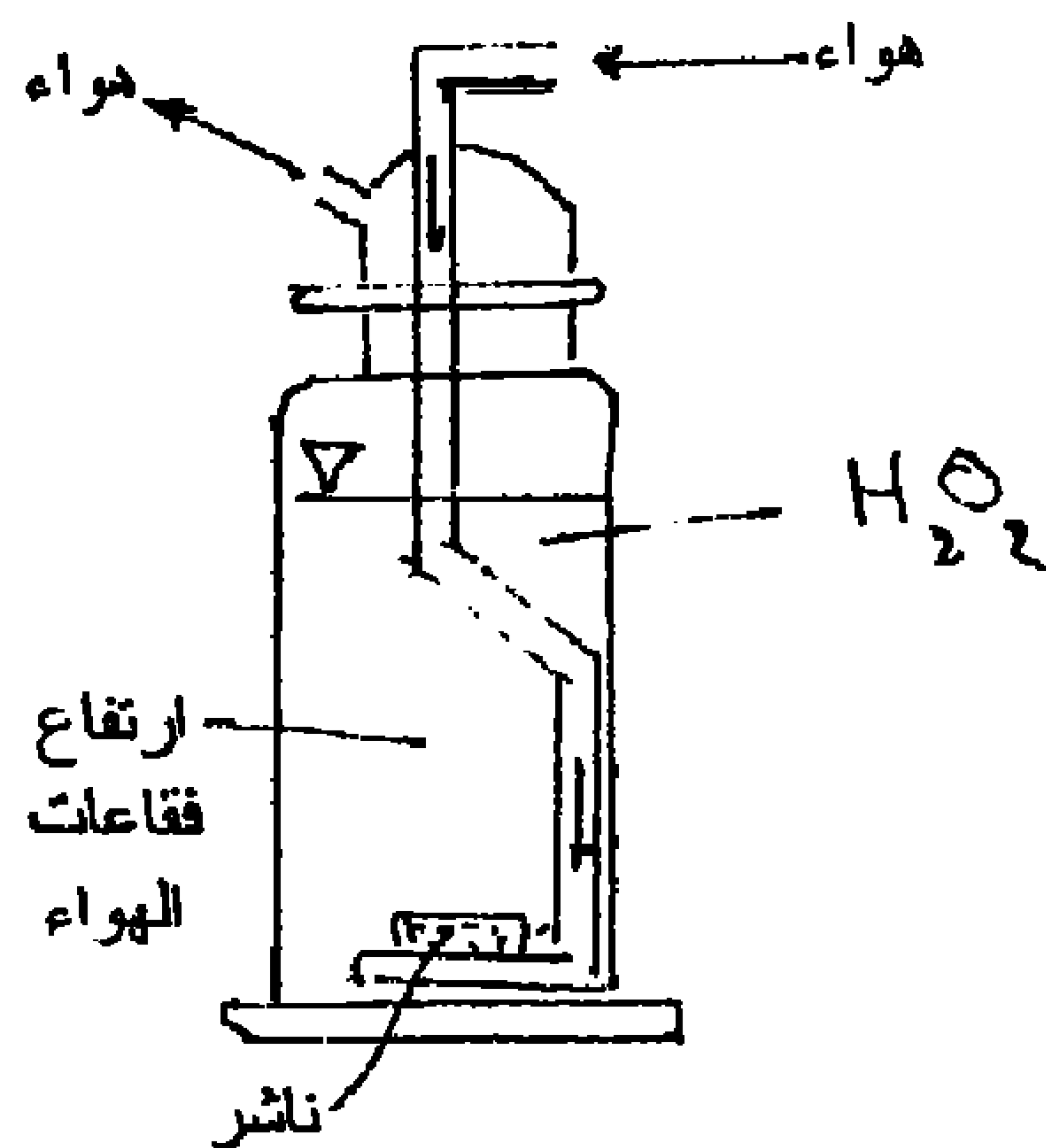
بالملاحظة، حيث يتم عمل ٣٠ ملاحظة خلال ١٥ دقيقة، يتم حساب المتوسط من تلك القراءات. قراءات مخطط رنجل مان للدخان تم استبدالها بقياس النسبة المئوية للعتامة (Percent Opacity)، قراءة رينجل مان واحد، كمثال، تقابل نسبة عتامة ٢٠%.

الغازات : (Gases)

السلوك الطبيعى والخواص للغازات تختلف عن تلك للجسيمات. أحد الاختلافات الهامة هى أن جزئيات الغاز صغيرة بما يمكنها من المرور خلال أدق مرشح، كما أنها بالتأكيد صغيرة جداً بالنسبة للترسيب بالجاذبية. التقنيات لأخذ العينات وعمل القياس للملوثات الغازية تشمل عموماً إما عملية الامتصاص أو عملية الادمصاص.

الامتصاص هو العملية التى يتم فيها التوزيع المتساوى للمركب الغازى فى السائل أو الصلب والذى يسمى الماص (Absorbent). فى جميع عمليات أخذ عينات الهواء يكون الماص عادة سائل، الامتصاص فى السائل لإجراء التحليل المعملى هو الطريقة الموافق عليها من وكالة حماية البيئة بالنسبة لغاز ثانى أكسيد الكبريت والمركبات الأخرى ذات الوزن الجزيئى المنخفض.

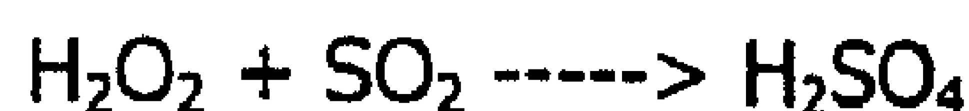
الامتصاص يمكن أن يكون إما عملية كيماوية أو عملية طبيعية، إذابة غاز فى سائل هو عملية طبيعية. الامتصاص الكيماوى يستخدم سائل يحتوى على مادة تتفاعل مع الغاز لتكون منتج يسهل اكتشافه. نموذج لجهاز أخذ العينات بالامتصاص يسمى أنبوب الفقاعات أو التصادم (Bubbler or Impinger Tube) موضح فى الشكل (٦/١٧).



شكل (٦/١٧) جهاز فقاعات الغاز أو امتصاص الغاز يمكن أن يستخدم فى أخذ عينات ملوثات غازية معينة. فمثلاً H_2O_2 يمتص SO_2 من الهواء مكونا H_2SO_4.

حيث يمكن حساب مستوى SO_2 فى الهواء بعد قياس كمية H_2SO_4

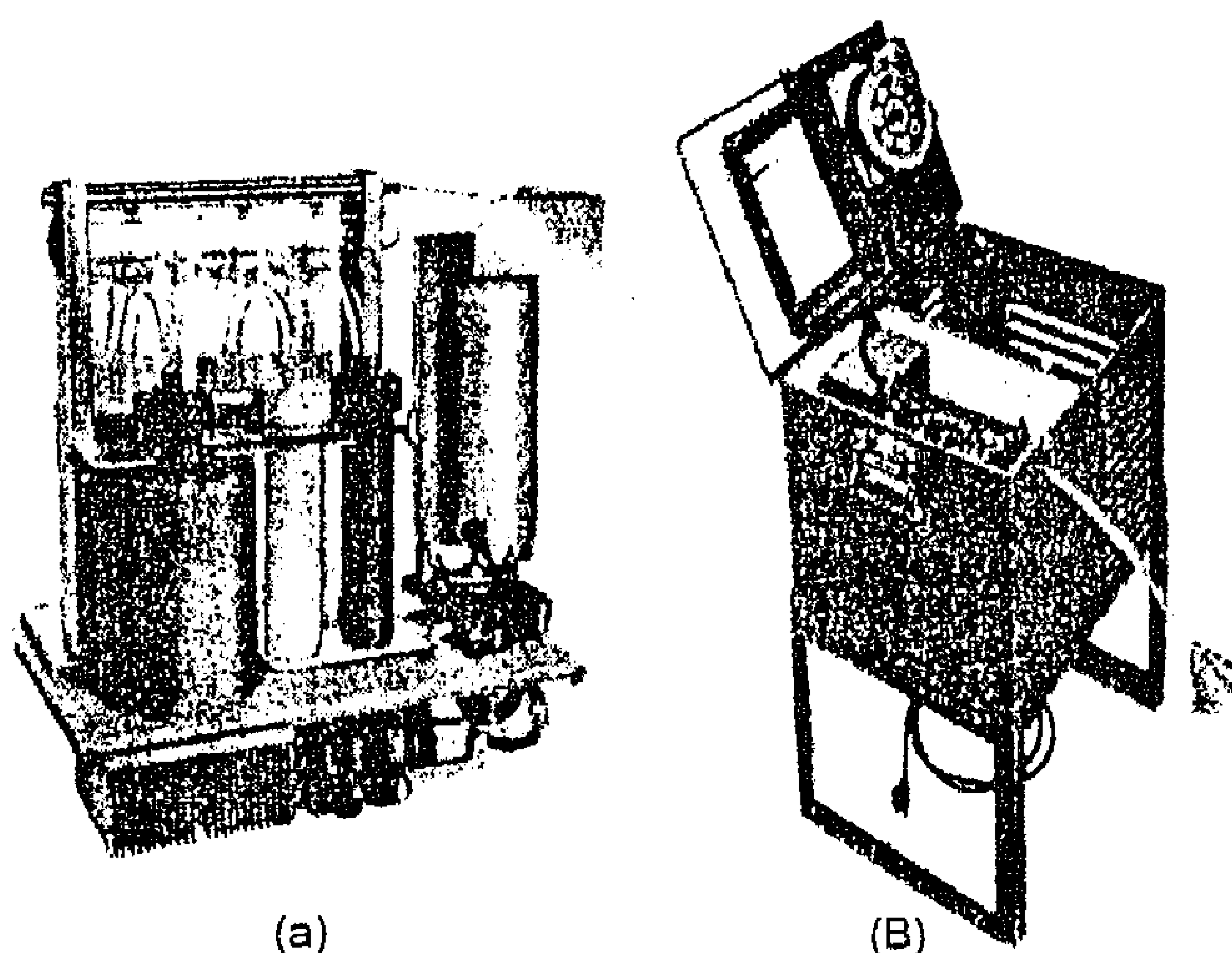
يتم ضخ الهواء خلال ناشر صغير من الزجاج (ذو فتحات بقطر ٥٠ مليميكرون أو أصغر) تطفو الفقاعات إلى أعلى خلال السائل، والذى إما أن يذيب الغاز أو يتفاعل معه كيماويا. إذا كان حجم معلوم من الهواء محتويا على ثانى أكسيد الكبريت، كمثال، يتم ضخ فقاعاته إلى أعلا خلال ثانى أكسيد الهيدروجين (H_2O_2)، فإنه يتكون حامض الكبريتيك بسرعة، كما فى المعادلة التالية



$$H_2O_2 + SO_2 \dashrightarrow H_2SO_4$$

كمية حامض الكبرتيك التى تتكون فى التفاعل يمكن قياسها بطريقة قياسية كيماوية وبذا يمكن حساب كمية وتركيز ثانى أكسيد الكبريت فى عينة الهواء. جهاز الفقاعات ليس كفؤا بنسبة ١٠٠% ذلك لأنه ليس كل عينة الهواء تمتص بواسطة السائل. حيث يلزم اختبار الجهاز مقدما لتعيين مدى كفاءته لإمكان ضبط النتائج النهائية الكمية.

جهاز الامتصاص الذى يسمى الفوار لمدة ٢٤ ساعة (24 H bubber) موضح فى الشكل (٦/١٨) ويمكن استخدامه لاختبار ثلاثة غازات مختلفة فى نفس الوقت. يتم توصيل ثلاث مسارات منفصلة مع سوائل تجميع مناسبة فى الفوار، على التوازى مع مضخة تفريغ. معدل سريان الهواء يمكن التحكم فيه وقياسه. تجهيزة مشابهة لأخذ العينات، تسمى جهاز أخذ العينات المتعاقبة، يمكن استخدامه لجمع حتى ١٢ عينة بالتتالى لفترة زمنية محددة، حوالى ساعتين. وهذا الجهاز يمكنه تعيين تركيزات الذروة لملوث معين على أساس يومى.



شكل (٦/١٨) (أ) جهاز أخذ عينات ثلاثة غازات (ب) غلاف الجهاز

الادمصاص (Adsorbtion) هو عملية طبيعية حيث تلتصق جزئيات الغاز بسطح المادة الصلبة وتعلق عليه بقوة الربط للجزئيات (Molecular Forces). مادة الإدمصاص (Adsorbant) هى عادة مادة حبيبية مثقبة (مثل الفحم النباتى أو الحيوانى أو الكربون المنشط) ولها مساحة سطحية كبيرة جداً بالنسبة لحجمها. العملية العكسية التى يتم بها إزالة الجزئيات التى تم تجميعها من الأسطح تسمى إزالة الإدمصاص (Desorption). يمكن إزالة الإدمصاص باستخدام مذيب أو باستخدام الحرارة لطرد الجزئيات المحتجزة.

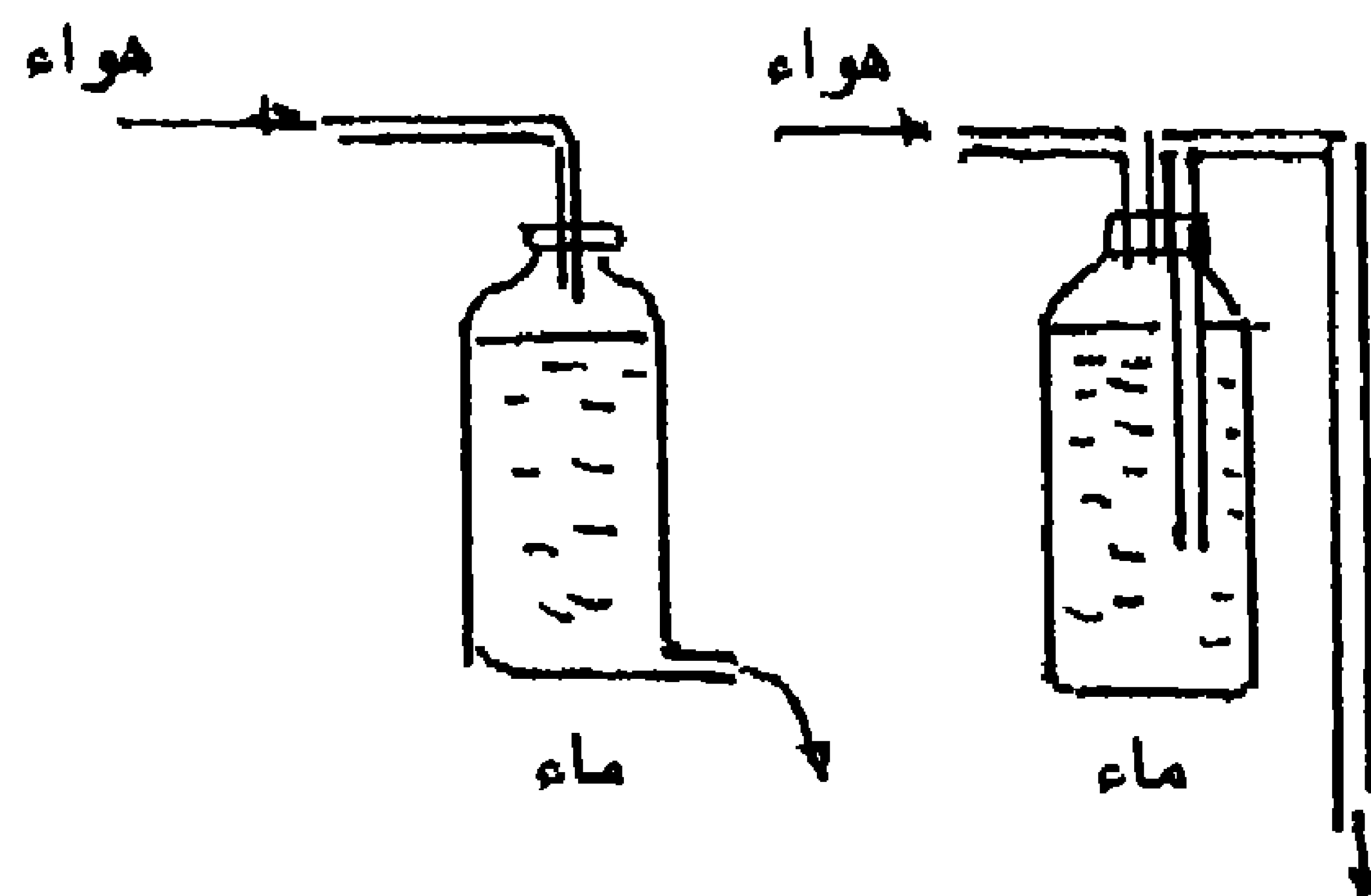
أعمال الدراسة الحقلية الصحيحة للكشف عن المركبات العضوية فى مكان العمل عادة تستخدم أنابيب الادمصاص بالفحم النباتى أو الفحم الحيوانى ومذيب لإزالة الإدمصاص. بعد إزالة الادمصاص للملوثات تستخدم تقنيات (Flame ionization or Gas Chromatography) للتحليل المعملى وذلك لقياس مستوى التلوث. فى أنابيب قياس الألوان (Colorimetric Tubes)، فإن مادة الادمصاص (Adsorbent) يمكن تغطيتها بكيماويات التى تتفاعل مع وتغير اللون بنسبة كمية الغاز الممتز. فمثلاً، إذا كان الممتز فى أنبوب كشف أول أكسيد الكربون سيتغير من الأصفر إلى الأزرق الذى يميل إلى الاخضرار عند مرور عينة هواء محتوية على أول أكسيد الكربون خلال الأنبوبة. يتم قياس تركيز أول أكسيد الكربون بمقارنة اللون بمخطط اللون المعاير. أجهزة أخرى مثل السيليكا جيل، الألومنيا والبلمرات العضوية يمكن أن تستخدم كذلك كمواد إدمصاص (امتزاز). مواد الادمصاص من البلمرات العضوية مفيدة تحديداً فى أخذ عينات الهواء للمركبات العضوية.

جهاز أخذ عينات الهواء الكلية : (Whole - Air sampler)

جهاز أخذ عينات الهواء (أو العينات المخطوفة) يتم تجميعها بطرق عدة، بما فيها استخدام قنينة بسيطة مفرغة. عند فتح القنينة فى مكان أخذ العينات، فإنه يتم سحب عينة الهواء فيها، حيث يتم بعد ذلك تحليل العينة فى المعمل.

تجهيزة أخرى لأخذ العينات المخطوفة (Grab sampling) وهى مؤثرة إذا كان الغاز تحت الدراسة غير مذاب، هى قنينة الإزاحة (Displacement Bottle) الموضحة فى الشكل (٦/١٩). مع صرف الماء أو أى سائل آخر أو تفريغه بطريقة السيفون، فإن الهواء ينسحب إلى الداخل بالضغط المنخفض لأخذ مكان السائل المزاح. حجم عينة الهواء المسحوبة إلى الداخل تساوى حجم السائل المزاح. عموماً تجهيزات أخذ العينات المخطوفة

غير مفيدة كثيراً عند وجود كميات صغيرة جداً من الملوثات فـــى الهـــواء، نظـــراً لأن الأحجام التى يتم جمعها قد لا تكون كافية للتحليل الدقيق.



شكل (٦/١٩) قنينة الإزاحة

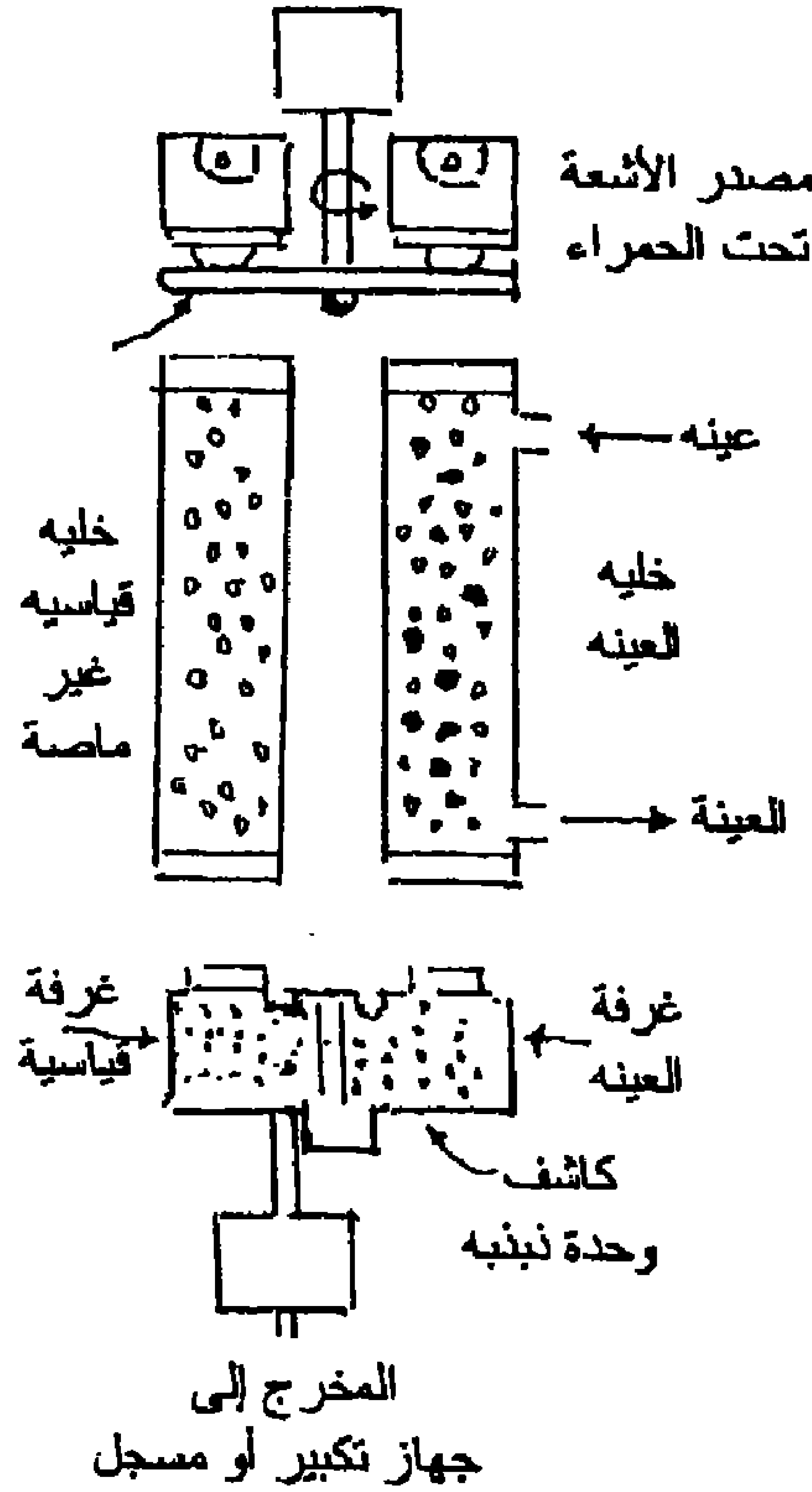
تحليل الغاز : (Gas Analysis)

يوجد مئات من الأجهزة الحديثة لتحليل الغازات. كلاً من تقنيات التحليـــل بـــالألوان (Colorometric) وتقنيات الفوران (Bubbler) التى تسمى الجيل الأول والثانى لتجهيزات تحليل الهواء. مثال للجيل الثالث المستخدم كثيراً هو جهاز تحليل بعدم تشتت الأشعة تحت الحمراء (Nondispersive Infra Red analyzer) الموضح فى الشكل (٦/٢٠).

يستخدم هذا فى قيـــاس الغـــازات التـــى تمـــتص الأشـــعة تحـــت الحمـــراء مثـــل (NO_2, SO_2 , CO). يبنى القياس على مبدأ الامتصاص التفضيلى، اختلاف الغازات التـــى ترسل و تمتص أطوال موجات مختلفة للأشعة تحت الحمراء.

جهاز الكشف عند قاع الشكل (٦/٢٠) له غرفتين محتويتين على أحجام متساوية من الغاز المطلوب دراسته. الغرفتين منعزلتان عن بعـــضهما بواســـطة رق معـــدنى مـــرن (Diaphragm)، زر كهربائى معدنى ثابت حيث يتكون مكثف (Capacitor). الأشعة تحت الحمراء يتم توجيهها خلال خليتين متشابهتين، أحدهما هى الخلية القياســـية (Reference) وتملأ بالنيتروجين. والأخرى هى خلية العينة، حيث يتدفق خلالها الغاز المطلوب تحليلـــه عند وجود الملوث المطلوب الكشف عنه فانه يمتص عينة من الأشعة تتناسب مع تركيـــز الملوث، ولكن لا يحدث امتصاص فى الخلية القياسية. بعد المرور خلال الخلية القياسية أو خلية العينة، فإن الأشعة يتم امتصاصها بواسطة الغاز فى خلايـــا الكاشـــف (Detector Cells). لأن بعض الطاقة تم امتصاصها فى خلية العينة فإن الغاز فى الخليـــة القياســـية

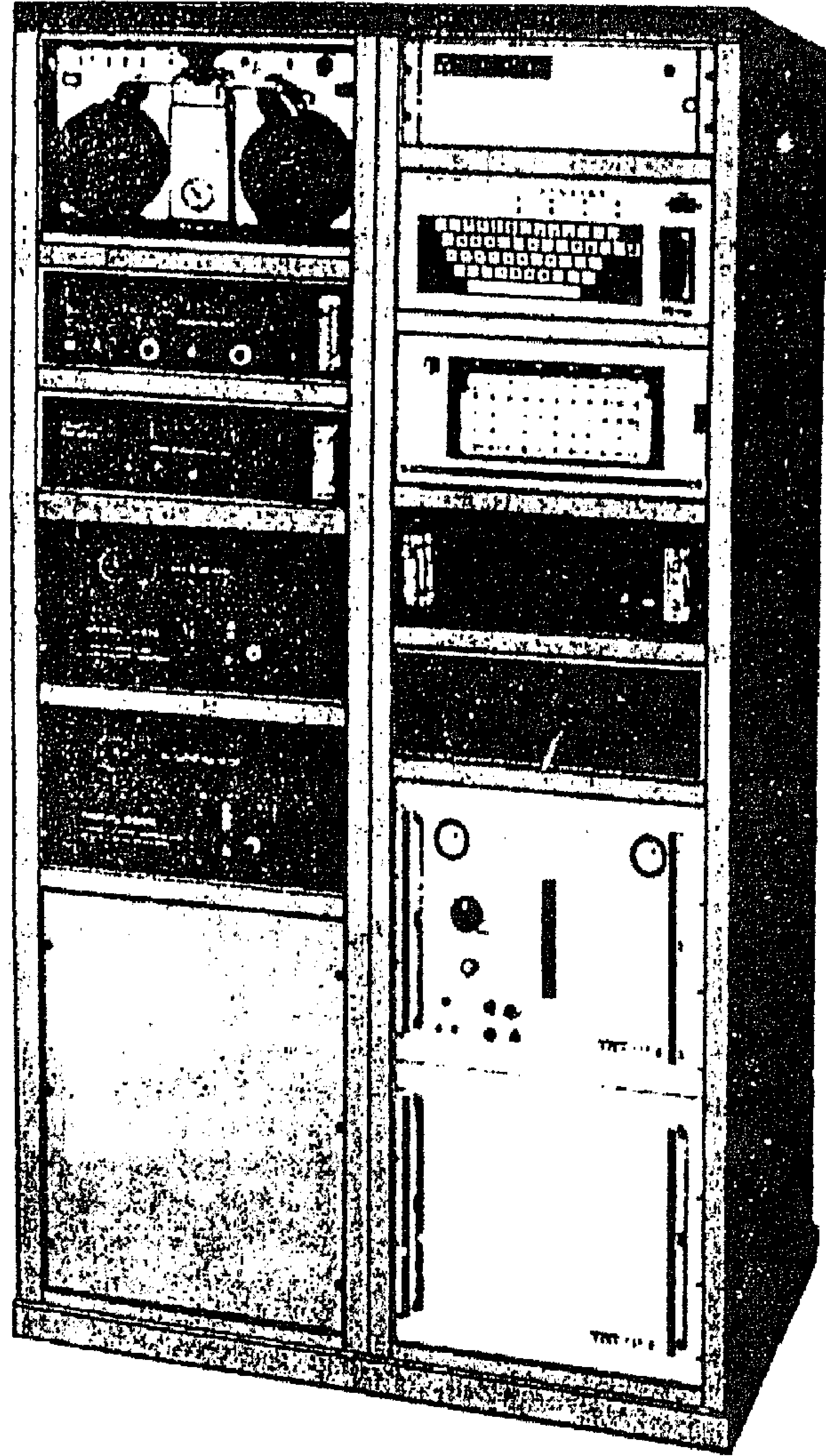
يصبح أكثر سخونة عن الغاز فى خلية كاشف أخذ العينات (Sampler Detector Cells)، حيث ترسل إشارة كهربية إلى المسجل. الإشارة تتناسب مع تركيز الملوث.



شكل (٦/٢٠) محلل الأشعة تحت الحمراء

تقنيات حديثة أخرى للتحليل تشمل كلاً من (Chromatography , mass spectorometry , Flame Emission spectrometry and Electrochemistry). أجهزة الرصد المستمر المتطورة الحديثة موضحة فى الشكل (٦/٢١)، هذه الأجهزة المكلفة تجمع ما بين الجمع والتحاليل الآلية لكثير من مختلف ملوثات الهواء. عناصر الكشف الإليكتروني، أجهزة القياس، أجهزة التسجيل هى جزء من تسلسل أخذ العينات لهذا النوع من المعدات.

المخططات المستمرة التى تظهر التغيرات كل ساعة فى مستويات الملوث أو تركيزاته متاحة كذلك. هذا مفيد بالتحديد فى المناطق المتحضرة عند الاستخدام كجزء من نظام الإنذار لمخاطر التلوث.



شكل (٦/٢١) نظام الرصد المستمر

٧- التحكم فى تلوث الهواء : (Air Pollution Control)

لقد ظهرت الحاجة إلى خفض أو التحكم فى تلوث الهواء منذ عدة مئات من السنين. كما ذكر فى البند (١) أحد المحاولات المبكرة لتقنين التحكم فى تلوث الهواء كان فى إنجلترا منذ القرن الرابع عشر الميلادى عند منع الملك إدوارد الثانى حرق الفحم. ولكن اليوم فإن الدخان أصبح أكثر من تحذير مؤقت، حيث الدخان وملوثات الهواء الأخرى أصبح يؤثر على الصحة والسعادة، والإحساس بالارتياح وحتى مناخ الأرض على المستوى كل الكرة الأرضية. كما أنه معروف أن أساليب العقاب القديمة لا يمكنها حل

المشكلة. فى المجتمعات الصناعية الحديثة يكون من الصعب تجنب توليد على الأقل بعض مخلفات الإنتاج التى سوف تدخل الجو، بطريقة أو بأخرى. قوانين التحكم فى التلوث الاستراتيجية ومعايير تلوث الهواء أصبحت ضرورية، كما أن المبادئ المنطقية للتكنولوجيا والهندسة يجب توجيهها نحو التطوير واستخدام معدات التحكم فى التلوث.

استراتيجية التحكم فى التلوث :

يوجد عديد من الاستراتيجيات للتحكم فى تلوث الهواء، أكثرها تأثيراً هو منع حدوث التلوث. الإلغاء الكامل للمصدر يحقق ذلك، ولكن يمكن حدوث ذلك فقط فى حالات الطوارئ، حتى عندئذ فإنه يسبب خسائر اقتصادية، بالإضافة إلى أنه يوفر حل مؤقت لمشاكل تلوث الهواء المحلية.

البديل الآخر للتحكم فى تلوث الهواء هو مكان المصدر لخفض الآثار الضارة فى مكان محدد. قد يكون هواء مناطق التجمعات السكنية ضمن المخطط العمرانى، الذى يحدد أماكن محطات الطاقة والأنشطة الصناعية لتكون بعيداً عن الكثافة العالية للسكان. يمكن تخطيط ومنع هذه المناطق على أساس الإطار العام لحركة الرياح. هذا البديل له حدود، رغم أن نوعية الهواء المحلى يمكن حمايتها إلى حد ما، إلا أن الملوثات يمكن أن يحملها الهواء إلى تجمعات قريبة بانتشار السحابات المنبعثة من المداخن الطويلة، أو تجمعات الدخان.

المداخن الطويلة تأخذ الملوثات عالية إلى الجو، بما يسمح بعملية الخلط والانتشار لتخفيف الملوثات، وخفض مستويات التلوث. ولكن "الذى يذهب إلى أعلى يجب أن يعود إلى أسفل" وعندما يعود إلى أسفل تعود مشكلة تلوث الهواء. ترسيب الحامض أو المطر الحمضى هو مثال واضح لمشكلة تلوث الهواء التى تتعدى الحدود المحلية.

من بين الطرق الهامة للتحكم فى تلوث الهواء هو تشجيع أو مطالبة الصناعات لاستبدال الوقود أو تغيير عمليات الإنتاج. فمثلاً، استخدام أكثر للطاقة الشمسية، الطاقة المائية لإنتاج الكهرباء (Hydroelectric)، والطاقة الحرارية الجيولوجية (Geothermal) سوف يقلل كثيراً من التلوث بسبب احتراق الوقود الحفرى فى محطات توليد الطاقة. الطاقة النووية سوف تعمل نفس الشئ، ولكن المشاكل الأخرى المتعلقة لارتفاع مستوى الإشعاع للمخلفات والأمان اللازم يلزم حلها. كذلك استخدام الفحم الطبيعى منخفض الكبريت ومنتجات البترول سوف يقلل من انبعاثات SO_2 من محطات إنتاج الطاقة الحالية. التكنولوجيا الخاصة بمعالجة وإزالة الكبريت من الوقود الحفرى الجاف قبل حرقه

وإذا كانت متاحة حاليا إلا أنها مكلفة. التغير الكامل لبعض العمليات الصناعية يمكن كذلك أن يقلل من تلوث الهواء، أحد الأمثلة هو استخدام الأفران الكهربية بدلاً من أفران الجمرة المكشوفة (Open Hearth) فى صناعة الصلب.

استبدال الوقود مؤثر كذلك فى خفض التلوث من المصادر المتحركة. فمثلاً، استخدام الجازولين المعدل أو غاز البترول المسال، الغاز الطبيعي المضغوط، أو الميثانول لسيارات الطرق العامة سوف يساعد فى تنقية الهواء. الاستبدال الكامل لوقود الجازولين فى السيارات بالطاقة الكهربية قد يبعد أحد المصادر الرئيسية لتلوث الهواء. ولقد كانت ولاية كاليفورنيا هى الولاية الأولى التى طلبت أنه بحلول عام ١٩٨٢، يكون ٢% من مبيعات السيارات الجديدة بانبعاثات صفر (أى سيارات كهربية). وزاد الطلب إلى ١٠% فى عام ٢٠٠٣. ولاية أخرى تبنت نفس الأسلوب وتوقيتاته.

الاستخدام الصحيح لعمليات التشغيل والصيانة يعتبر هام لخفض تلوث الهواء ويجب عدم إغفاله كاستراتيجية مؤثرة فى التحكم. فمثلاً، إذا قام عامل فى محطة إنتاج طاقة بإدخال كمية أكبر من اللازم فى فرن الغلاية، فإن انبعاثات الرماد الطائر سوف تزداد. إضافة كمية كبيرة من الكبريت فى مصنع إنتاج حامض الكبريتيك بدون الإمداد بالهواء الكافى يمكن أن يسبب زيادة انبعاثات SO_2. حتى أن عدم تزييت مروحة المحرك فى محطة الحرق يمكن أن يؤدى إلى تلوث غير ضرورى. وأخيراً، فإن أحد أهم الاستراتيجيات للحد من الانبعاثات من المصادر المتحركة هو برنامج التفتيش والصيانة المؤثر لمحرك السيارة.

قوانين ومواصفات نوعية الهواء :

حتى منتصف عام ١٩٩٠ كانت النظرة لتلوث الهواء أنها مشكلة دولة أو أنها مشكلة محلية. ولكن الآن أصبح معروفاً أنه ليس فقط مقصوراً على الدول ولكنه على مستوى الكرة الأرضية وله اهتمامات عالمية. قوانين نوعية الهواء تحت المراجعة المستمرة ويتم تطويرها. القاعدة هى أقصى مستويات مسموح بها، معدلات الصرف، وزمن التعرض لمواد معينة. ثلاثة أنواع من الخطوط الإرشادية هى بداية القيم الحدية، معايير كفاءة المصدر، ومواصفات نوعية الهواء المحيط.

بداية القيم الحدية (Threshold Limit values)، تركز على ملوثات للهواء معينة ذات التأثير المعروف والعلاقة بالآثار الصحية، وهذه تستخدم أساسا كخطوط إرشادية مهنية،

حيث تحدد تعرض العمال فى البيئات الصناعية إلى أبخرة معينة أو كيماويات، وهى مبنية على أساس التعرض لمدة ٨ ساعات فى اليوم، خمسة أيام فى الأسبوع.

معايير كفاءة المصدر تركز على معظم المنتجين لملوثات الهواء سواء المنزلية أو الصناعية سواء من مصادر متحركة أو من مصادر ثابتة. وهذه تشمل محطات الطاقة، محارق المخلفات الصلبة، المصانع، معامل تكرير الزيت، سيارات الطرق العامة. وكثيرا، وهذا عادة يعبر عنها بكتلة الملوث المنبعث فى وحدة الزمن، حجم الإنتاج، أو المسافة.

معايير نوعية الهواء المحيط تركز على المستويات المسموح بها لملوثات الجو خارج المبنى. وهذه تهتم بوضع الحدود التى تقلل من الآثار الضارة بالصحة العامة، الراحة والمتاع. افتراض زمن التعرض ليكون ٢٤ ساعة فى اليوم، سبعة أيام فى الأسبوع.

قانون الهواء النظيف : (Clean Air Act)

وجدت عدة قوانين للهواء النظيف بدءاً من عام ١٩٦٣، عام ١٩٦٧. والقانون الصادر فى عام ١٩٧٠ فى الولايات المتحدة حيث تم الإعلان الرسمى لمعايير نوعية الهواء المحيط لحماية الصحة العامة. وهذا طالب الدول بوضع خطة للتنفيذ. بالنسبة للصناعات الجديدة وضعت مواصفات لإنبعاثات المسموح بها للحد منها. هذا بالإضافة إلى وضع مواصفات حازمة لإنبعاثات السيارات وهذه المواصفات هى مثال لقواعد مشاركة التكنولوجيا.

المواصفات الأولية لنوعية الهواء المحيط لستة ملوثات موضحة فى الجدول (١/ ٦). المواصفات الأولية وضعت لحماية الصحة، المواصفات الثانية للحماية ضد التأثيرات التى ليس لها علاقة بالصحة مثل إتلاف المحاصيل أو الرؤية. نظراً لأن نوعية الهواء المحيط تتغير مع الوقت، فلقد تم توصيف واحد أو أكثر من فترات القياس الزمنية لكل ملوث. التركيز المسموح به يمكن التعبير عنه بالميكروجرام/م٣ أو بالجزء فى المليون.

الملوثات	متوسط الوقت	التركيز المسموح به
PM10	المتوسط السنوى الحسابى ٢٤ ساعة	٥٠ ميكروجرام/م٣ ١٥٠ ميكروجرام/م٣
SO_2	المتوسط السنوى الحسابى ٢٤ ساعة	٨- ميكروجرام/م٣ ٣٦٥ ميكروجرام/م٣
CO	٨ ساعات ١ ساعة	١٠ ميكروجرام/م٣ ٤٠ ميكروجرام/م٣
NO_2	متوسط السنوى الحسابى	١٠٠ ميكروجرام/م٣
O_3	١ ساعة	٢٣٥ ميكروجرام/م٣
Pb	٣ دقائق	١,٥ ميكروجرام/م٣

مخطط نوعية الهواء : (Air Quality Index)

لإمكان توفير المجتمع بالمعلومات التى يسهل فهمها عن نوعية الهواء خارج المبنى ولتقدير نوعية الهواء، فلقد أصدرت وكالة حماية البيئة المخطط اليومى لنوعية الهواء قبل عام ١٩٩٠ وسمى هذا مخطط معايير الملوث (Pollutant standard Index). بالإضافة إلى إستخدامه كأداة معلومات متاحة، فإنه يساعد فى تعيين الخطوات اللازمة فى حالة ارتفاع منسوب تلوث الهواء إلى المستوى الغير صحى. المخطط لنوعية الهواء يختص بكل من الملوثات الخمسة للهواء، وهم الجسيمات، ثانى أكسيد الكبريت، أول أكسيد الكربون، ثانى أكسيد النيتروجين، الأوزون. وهذا يتم بتحويل قياسات تركيز الملوثات فى هواء المجتمع إلى رقم على تدريج من صفر إلى ٥٠٠. توجد خمس مراحل على تدريج مخطط نوعية الهواء كل منها مرتبط بالتأثيرات الصحية لكل من الملوثات الخمسة للهواء. وهذه المراحل هى:

مخطط نوعية الهواء	التأثير الصحى
صفر إلى ٥٠	جيد
١٥ إلى ١٠٠	متوسط
١٠١ إلى ٢٠٠	غير صحى
٢٠١ إلى ٣٠٠	غير صحى جداً
٣٠١	خطر

الرقم المهم فى مخطط نوعية الهواء هو الرقم ١٠٠، ذلك لأن هـذا الـرقم يقابـل المواصفات الخاصة بقانون الهواء النظيف لكل ملوث. قراءة ٣٦٥ ميكروجرام/م٣ لثانى أكسيد الكبريت مثلاً، تترجم إلى مخطط نوعية الهواء بالمـستوى ١٠٠. وبالمثـل ٢٣٥ ملجرام/م٣ التركيز المقاس للأوزون سيتحول كذلك إلى مخطط نوعية الهواء لـــ ١٠٠. وبالمثل التركيز المقاس للأوزون ٢٣٥ ملجرام/م٣ سيتم كذلك تحويلـه إلــى ١٠٠ فـى مخطط نوعية المياه.

لقد أعدت وكالة حماية البيئة أعلى خمسة أرقام لمخطط نوعية الهواء لكـل منـاطق المدن وتعريف أى ملوث يقابل الرقم المدون. فمثلاً، المستوى ١١٠ للأوزون لمنطقة مـا سيعرفون أن الأزون من الملوثات وأنه على أعلى مستوى لنوعية الهواء فى هذا اليوم.

وأن كل الملوثات الأخرى هى فى حدود المستوى الجيد أو المتوسط. فى الأيام عنـد زيادة ملوثين أو أكثر عن المعايير (أى أكبر من قيمة مخطط نوعية الهـواء ١٠٠) فـإن ملوث الهواء بالمستوى الأعلى يتم إعلانه.

<u>معايرة الأحداث (Episodes Criteria)</u>

جميع المستويات أعلى من ١٠٠ لمخطط نوعية الهواء قد تحفز الإجراءات الوقائيـة بواسطة الدولة أو المحليات. وهذه تتضمن نصائح صحية للأشـخاص ذوى الحـساسية بتحديد أنشطتهم الخارجية مع قيود فاعلة على الأنشطة الصناعية. المستوى ٢٠٠ يحتمل أن ينذر بمرحلة الخطر. الأنشطة التى يمكن منعها بواسطة المسئولين تتضمن اسـتخدام الحرق للمخلفات. أما المستوى ٣٠٠ فإنه تحذير الذى يحتم منع الحرق، تخفيض عمليـة تشغيل محطات الطاقة وبعض الأنشطة الصناعية وتحذير المواطنين من استخدام وسـائل

النقل العام. أى مستوى في حدود ٤٠٠ أو أعلى يمثل حالة طوارئ والتى تتطلب إيقاف معظم الأنشطة الصناعية والتجارية، بالإضافة إلى تحذير لكل الاستخدامات الخاصة للسيارات الخاصة.

التحكم في الملوثات من المصادر الثابتة :

افضل استراتيجية لحماية نوعية الهواء هى بخفض كمية التلوث عند المنبع، أساسا باستبدال الوقود أو تغيير طريقة الإنتاج. عندما لا يكون هذا ممكنا أو غير كافى لتحقيق الهدف، فإنه يلزم عندئذ إقامة بعض أنواع معدات تنظيف الهواء عند المصدر.

توجد أنواع متعددة من تجهيزات تنظيف الهواء التى يمكن أن تجمع أو تحتجز ملوثات الهواء قبل انبعاثها فى الجو. بعض من هذه التجهيزات تعمل فقط للتحكم فى الجسيمات العالقة والبعض الآخر للتحكم فى الملوثات الغازية. تصميم أو اختيار نوع معين من أجهزة تنظيف الهواء يعتمد على الخواص الطبيعية والكيماوية للملوث المطلوب إزالته وكذلك درجة الحرارة والعدوانية (Corrosivily) والخواص الأخرى للملوث والغاز الحامل.

التحكم في الجسيمات :

معظم الجسيمات الملوثة للهواء المحيط تأتى من المصادر الثابتة، وخاصة من محطات الطاقة، العمليات الصناعية، ونشاطات المناجم والمحاجر، وحرق المخلفات. الخواص الهامة للجسيمات التى تقرر ما نوع معدات نظافة الهواء الأفضل لتطبيقات التحكم فى التلوث هى متوسط حجم الحبيبات، التوزيع الحجمى، الكثافة، القدرة على التفاعل. خواص الغاز الحامل مثل معدل التدفق، محتوى الرطوبة، درجة الحرارة، والقابلية للاشتعال تلك كذلك ذات أهمية.

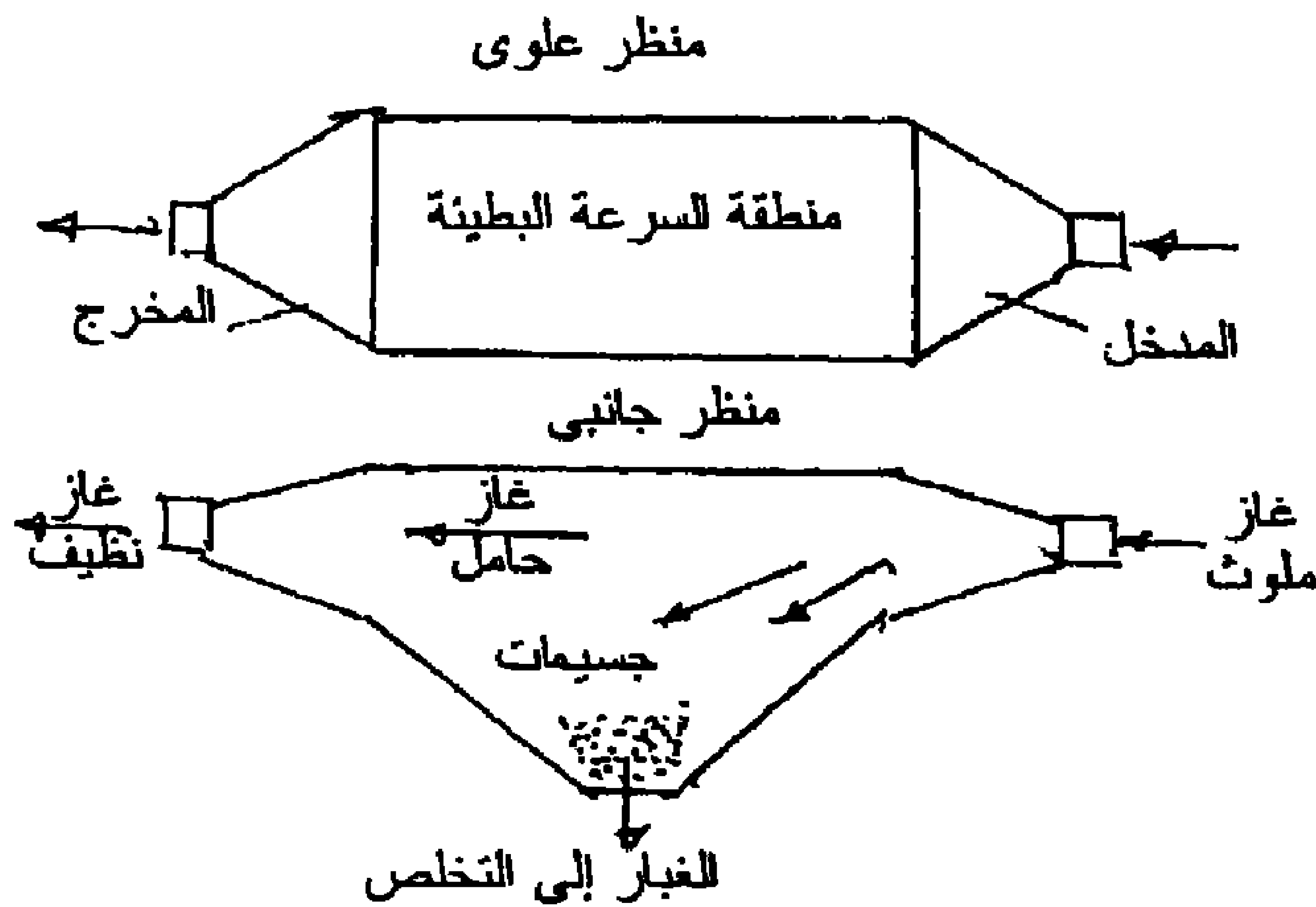
الجسيمات تأتى فى عدة أشكال وأحجام وهذه يمكن أن تكون نقاط سائل أو دخان صلب وجسيمات غبار. معظم الجسيمات ليست مستديرة، إذ تكون ذات شكل غير منتظم. عادة يشار إلى القطر الغير مؤثر للحبيبة ذات الشكل الغير منتظم عندما يكون واحد أو أكثر من أقطارها أكبر كثيرا عن الآخر. سلوك الجسم العالق فى تدفقات الغاز هو دلالة لكثافته وحركة القطر فى الهواء (Aerodynamic diameter). حركة القطر فى الهواء لأى حبيبة ذات شكل غير منتظم يعرف بقطر الدائرة ذات كثافة الماء التى ترسب في الهواء الثابت بنفس معدل الجسم الحقيقى نفسه. هذا هو القطر الذى يشار إليه عند مناقشة معدة

التحكم فى الأجسام وفى الجسيمات. التجهيزة التى تسمى صادم الهبوط (Cascade impactor) التى تفصل الأجسام العالقة على أساس القطر الهوائى الحركى تستخدم لتعيين توزيع حجم الحبيبات فى مسار العادم.

توجد أنواع كثيرة من معدات التحكم فى الجسيمات، بما فيها الترسيب بالجاذبية، الفرز الدوامى (Cyclones)، الترسيب بالطريقة الإليكتروستاتيكية، المرشحات من المنسوجات، وأجهزة الغسيل الرطب. بعض منها أقل تكلفة عن الآخر ولكن أقل كفاءة كذلك فى إزالة الجسيمات الدقيقة من الغاز الحامل. البعض يكون مقصوراً على نظافة الغازات الجافة ذات درجة الحرارة المنخفضة. نظراً لأن مشاكل التحكم فى تلوث الهواء تعتبر فريدة، فإنه يلزم استخدام المبادئ الهندسية لاختيار أفضل التجهيزات لنظافة الهواء لتطبيقات تحكم محددة.

<u>أجهزة الترسيب بالجاذبية : (Gravity Settlers)</u>

أبسط أنواع تجهيزات تنظيف الهواء هو غرفة الترسيب (Setting Chambre)، والموضحة تخطيا فى الشكل (٦/٢٢)، وهى أساسا مقطع مكبر أو غرفة فى مجرى حيث فيها تنخفض سرعة الغاز الحامل. عند البطء الكافى لسرعة الغاز الحامل فإن الأجسام الخشنة (ذات القطر أكبر من ٤٠ ميكروميتر) يمكن أن ترسب بالجاذبية. غرفة الترسيب لهذا النوع تعمل كمنظف أولى لمنع الانسداد لأجهزة جمع الأجسام الصغيرة الأكثر كفاءة والتى يجب أن تليها. عادة يتم إضافة عوائق داخل الغرفة لزيادة الترسيب وكفاءة إزالة الجسيمات.

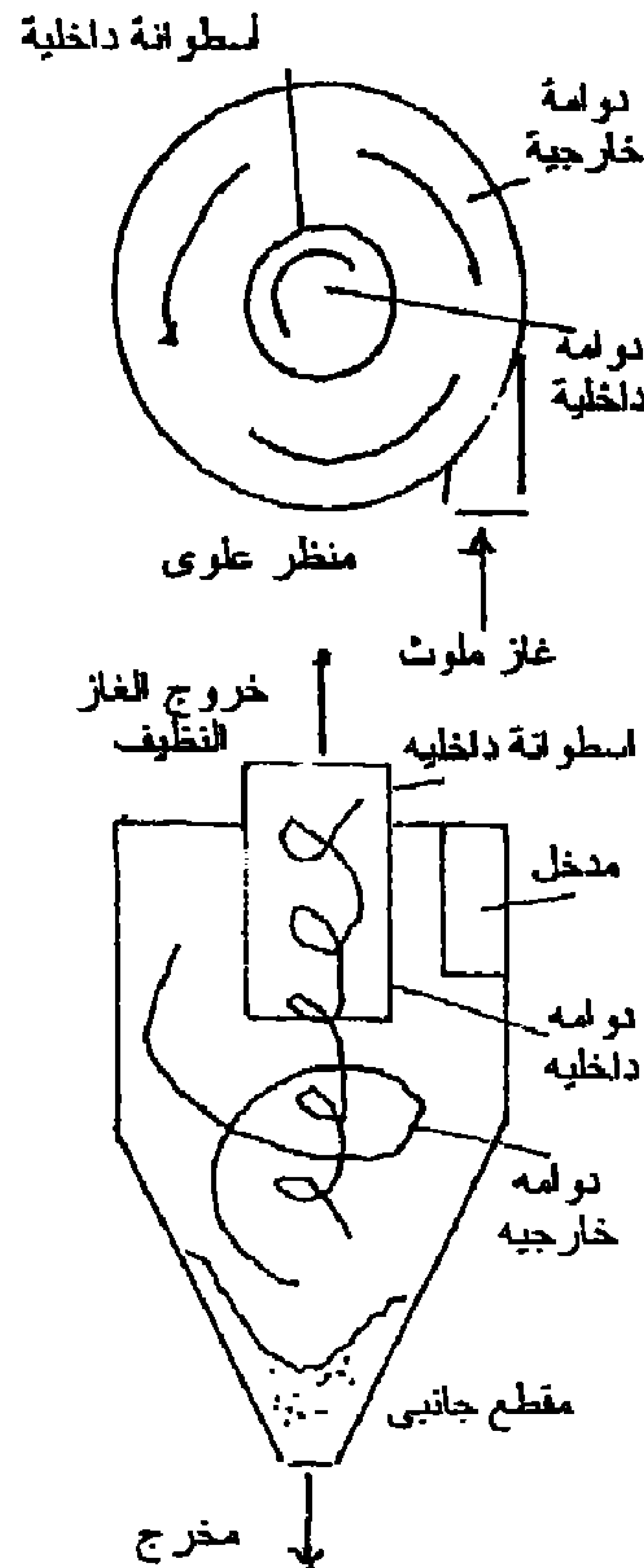


شكل (٦/٢٢) غرفة الترسيب،

تمكن من إزالة الجسيمات القابلة للترسيب عند المنبع

<u>الفرازة الدوامية : (Cyclone)</u>

التجهيزة الأخرى لتنظيف الهواء تسمى الفرازة الدوامية، والتى تزيل كثيراً من الجسيمات وذلك بجعل الغاز الحامل يسرى فى مسار حلزونى داخل غرفة أسطوانية. بدلاً من استخدام الترسيب لخفض السرعة والترسيب بالجاذبية فإن هذا المسار الحلزونى يعرض الجسيمات لقوى القصور الذاتى والاحتكاك والتى تفصلها من الغاز الحامل. كما هو موضح فى الشكل (٦/٢٣) يدخل الغاز الحامل غرفة الحلزون من اتجاه مماس عند الحائط الخارجى للغرفة ويكون دوامة مع الدوران حول الغلاف الداخلى الإسطوانى والقمعى. الجسيمات الأكبر تتحرك إلى الخارج وتدفع مقابل الجدار (طبقا لقانون القصور الذاتى والقانون الأول لنيوتن). الأجسام تبطأ بفعل الاحتكاك وتنزلق إلى أسفل الجدار إلى قادوس جمع الغبار عند القاع حيث يتم إزالتها. مسار الغاز النظيف عندئذ يسرى كدوامة إلى أعلى فى حلزون ضيق، خلال داخل الأسطوانة وخلال المخرج عند القمة.



شكل (٦/٢٣) فى جهاز الجمع الحلزونى، تدفع الحبيبات إلى الخارج حيث تبطأ وترسب. والهواء النظيف يتدفق لأعلى.

الأجهزة الحلزونية أكثر كفاءة لإزالة الجسيمات الخشنة نسبياً، ولكنها كذلك ذات كفاءة إلى حد ما فى إزالة الأجسام الأصغر فهى قادرة على تحقيق كفاءة بنسبة ٩٠% للأجسام أكبر من ٢٠ ميكروميتر. القطر الفاصل للفرازة الدوامية الحلزونية هو حوالى ١٥ مليميكرون، القطر القاطع (Cut Diameter) هو ذلك حيث ٥٠% من الأجسام يتم جمعها، و٥٠% لا يتم جمعها. بمعنى أن معظم الأجسام أكبر من ١٥ مليميكرون يتم إزالتها بالإضافة إلى حوالى نصف ذلك يكون صغيراً مثل ١٥ مليميكرون. على عكس غرفة الترسيب بالجاذبية فإن كفاءة الإزالة للأجسام الصغيرة فى الفرازة الحلزونية يزداد مع زيادة سرعة التدفق. فى بعض التصميمات المتقدمة تكون أجهزة الفرز الحلزونى قادرة على إزالة أكثر من ٩٨% بكفاءة للأجسام ذات قطر أكبر من ٥ مليميكرون.

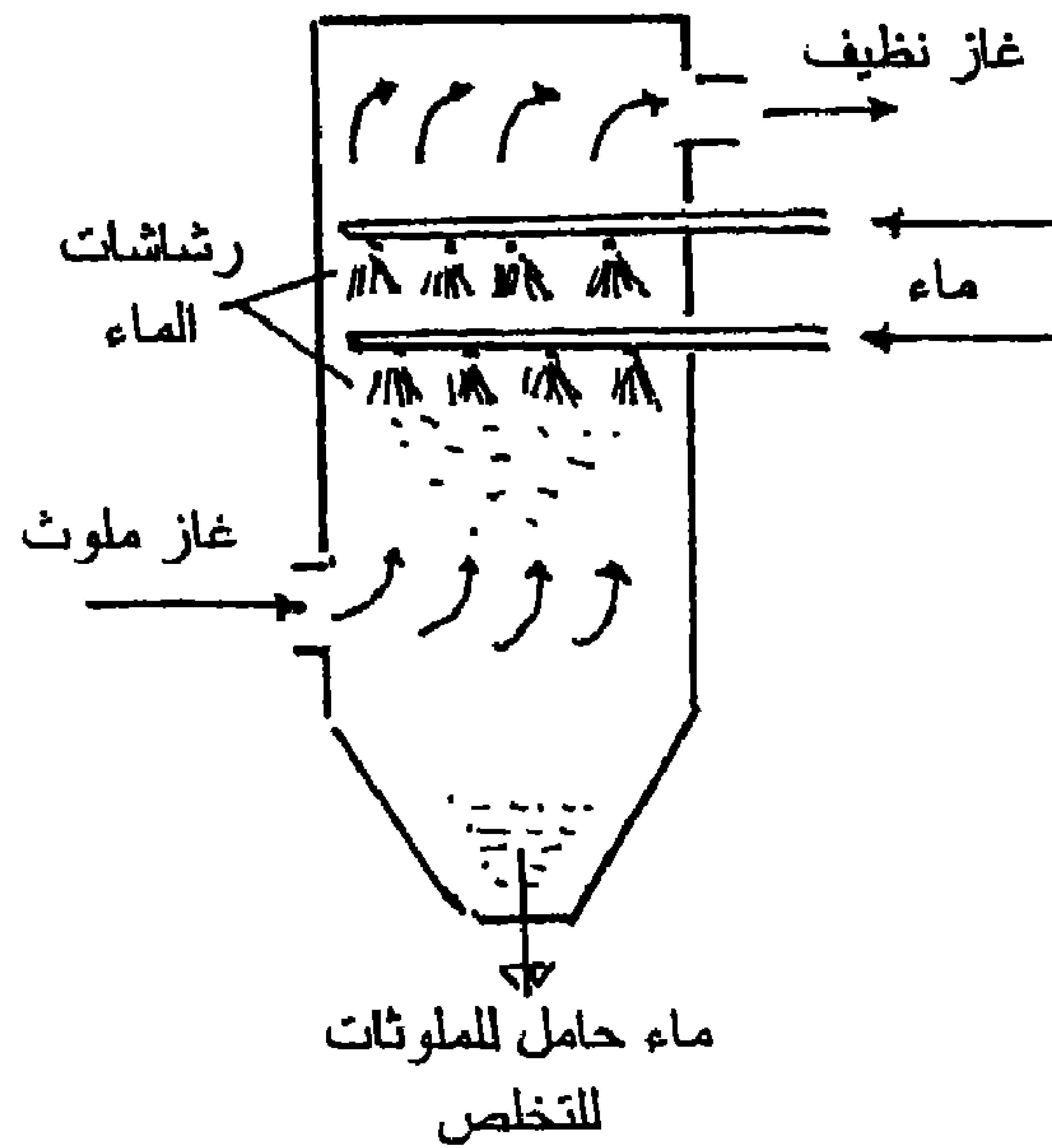
أجهزة الفرز الدوامى الحلزونى منخفضة التكاليف مقارنة بتجهيزات التنظيف الأخرى، وهى مفيدة عملياً فى إزالة الغبار من غازات العمليات الصناعية. وهى من أهم التجهيزات المستخدمة فى نظافة الغازات الصناعية. ولكن هذه التجهيزات عموماً ليست كافية لتحقيق نوعية الهواء طبقاً لمعايير النظافة المطلوبة. انخفاض تكلفتها الأولية وعدم الحاجة إلى عمليات الصيانة تجعل هذه الأجهزة مناسبة للاستخدام كمرحلة نظافة أولية (Precleaners) لتجهيزات النظافة النهائية الأكثر تكلفة، مثل أجهزة الترسيب الكهرواستاتيكية (Electrostatic precipitators) أو المرشحات النسيجية مثل وعاء الكيس (Bag House).

<u>أجهزة غسيل الغاز الرطبة : (Wet scrubbers)</u>

تجهزيات الجمع الرطبة تقوم باحتجاز الأجسام العالقة بالالتصاق المباشر مع رزاز الماء أو سائل آخر. جهاز الغسيل يقوم بنزع الأجسام من الغاز الحامل التى تصطدم وتتقاطع مع أعداد كبيرة من نقاط السائل الصغيرة. توجد أنواع كثيرة من أجهزة غسيل الغاز الرطبة منهاغرفة الغسيل بالرش (Spray chambre scrubbers)، الغسيل الحلزونى بالرش (Syclone spray Scrubber)، الغسيل بالبثق (Orifice scrubber)، الغسيل الرطب التصادمى (Wet Impingement)، الغسيل بالفنشورى (Venture Scrubber).

فى حالة الغسيل بالرش (سواء غرفة الرش أو برج الرش)، فإن الغاز الحامل الصاعد إلى أعلى يتم غسيله برش الماء الذى يتساقط إلى أسفل من عديد من الفتحات الصغيرة (الفنى Nozzles). كما هو موضح فى الشكل (٦/٢٤). يتم إعادة تدوير الماء بعد الترويق الكافى لتجنب انسداد الفتحات الصغيرة. غرفة الرش يمكنها إزالة جسيمات أكبر

من ٨٧ مليميكرون من الغاز بكفاءة تصل إلى ٩٠%. وهى تستخدم للتحكم فى الغبار فى صناعة الصوف الزجاجى وإنتاج ورق التنشيف (Paper Towl) وفى التطبيقات الصناعية الأخرى. يمكن زيادة كفاءة إزالة الغبار بإدخال الغاز الحامل مماساً فى الغرفة، كما فى غرفة الفرز السيليكونى. تأثيرات القصور الذاتى والسرعات العالية بسبب الحركة الحلزونية فى السيكلون يعزز نقاط الترذيز وإزالة الجسيمات.



شكل (٦/٢٤) برج الرش

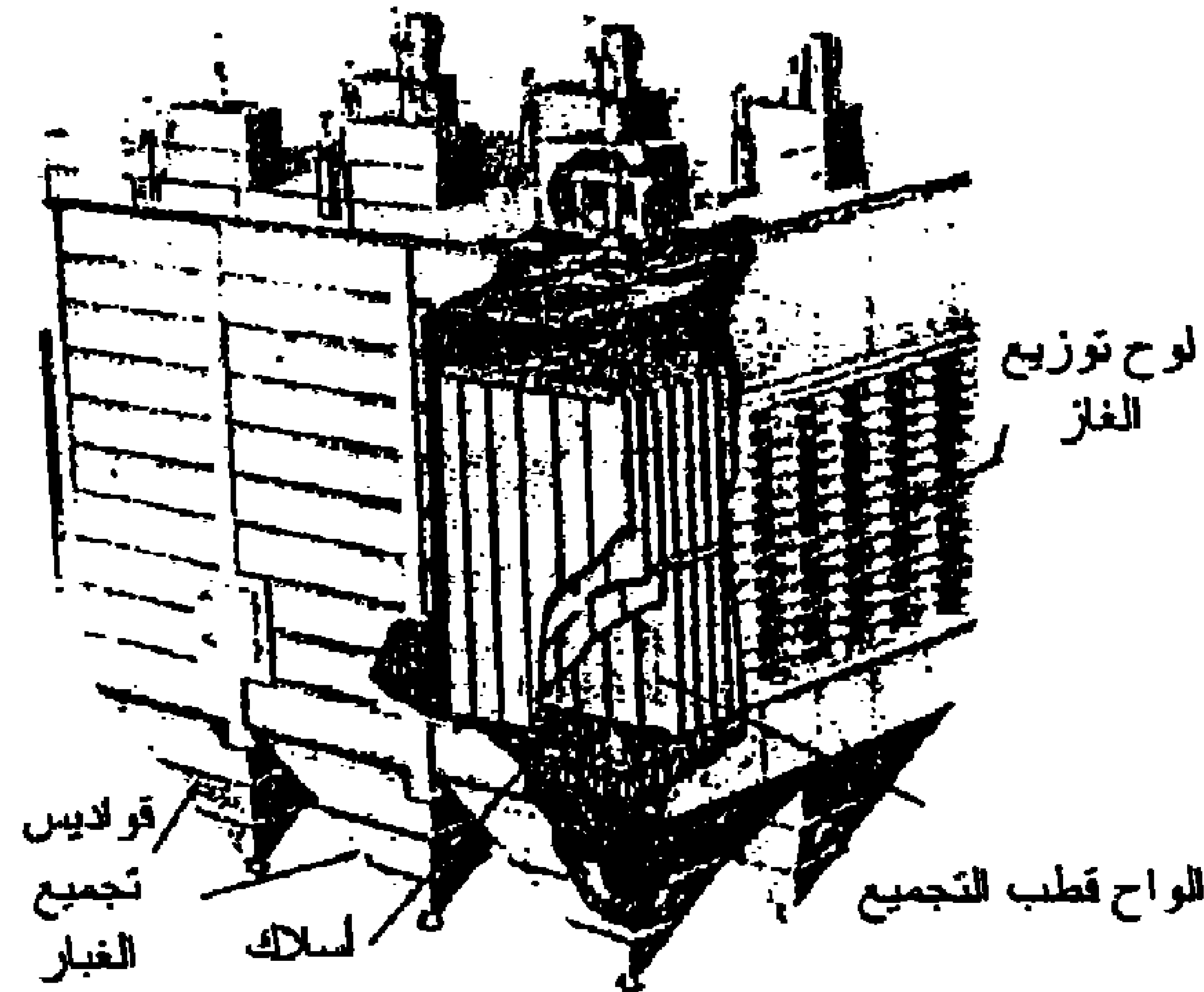
أحد أنواع الغسيل التى تزيل الجسيمات العالقة من الغاز الحامل

فى الغسيل بالبثق والتصادم الرطب، فإن خليط الغاز والنقط تصطدم مع السطح الصلب. أجهزة الغسيل هذه لها ميزة المعدل المنخفض لتدوير المياه وكفاءة المعالجة حوالى ٩٠% للأجسام أكبر من ٢ مليميكرون. أجهزة الغسيل بالفنشورى (Venture) هى الأكثر كفاءة من بين أجهزة التجميع الرطب، حيث تحقق نسبة إزالة أكثر من ٩٨% للجسيمات ذات قطر أكبر من ٠,٥ مليميكرون. كفاءة الغسيل تتوقف على السرعة النسبية ما بين النقاط (Droplets) والجسيمات. الغسيل بالفننشورى يوفر أعلى سرعات نسبيه بحقن الماء فى زور الفنشورى (الزور هو تقلص فى مسار الغاز) الذى خلاله يمر الغاز بسرعة حوالى ٧٥ متراً فى الثانية. أجهزة الغسيل بالفنشورى سهلة الإنشاء والصيانة ولكنها تحتاج إلى خفض كبير فى الضغط لتعمل.

أجهزة الترسيب الكهروستاتيكية : (Electrostatic Precipitators)

أجهزة الترسيب الكهروستاتيكية هى الطريقة المستخدمة عادة فى إزالة الجسيمات الدقيقة من تدفقات الغاز، وخاصة فى محطات توليد الطاقة. فى المرسب الكهروستاتيكى الأجسام العالقة فى تدفقات الغاز الحامل يعطى لها شحنة كهربية مع دخولها الوحدة وبذا تزال من تدفقاتاالغاز بتأثير المجال الكهربى. غرفة الترسيب أو الصندوق تحتوى على عوائق توزيع تدفقات الغاز، أقطاب صرف وتجميع ونظام نظافة الغبار، وقواديس تجميع. يستخدم تيار مستمر عالى الجهد لنظام قطب الصرف (Discharge Electrode) وذلك لإعطاء شحنة كهربية للأجسام والتى عندئذ تنجذب نحو أسطح التجميع حيث تصبح محتجزة.

فى نموذج للمرسب الكهروستاتيكى الموضح فى الشكل (٦/٢٥). تشمل أسطح التجميع مجموعة من الألواح المعدنية الضخمة المتوازية المستطيلة المعلقة عموديا فى منشأ صندوقى. عادة يوجد مئات من الألواح ولها إجمالى مساحة سطحية نحو مئات أو آلاف الأمتار المربعة. تعلق سلسلة من أسلاك أقطاب الصرف سالبة الشحنة بين كل ألواح التجميع الموصلة أرضى (Grounded)، حيث يستخدم فولت مرتفع حتى ١٠٠٠٠٠ فولت. الأجسام العالقة تكتسب شحنة سالبة مع سريان فى وخلال غرفة الترسيب.



شكل (٦/٢٥) مقطع فى جهاز الترسيب الكهروستاتيكى

الأجسام التى تلتصق بألواح الجمع ذات الشحنة الموجبة تزال من آن إلى أخر عند الاهتزاز الميكانيكى للألواح أو الطرق. الطرق هو تقنية ميكانيكية لفصل الأجسام المحتجزة من ألواح الأقطاب، والتى تكون مغطاة بطبقة من الغبار بسمك ٦ مليمتر

(٠,٢٥ من البوصة). الطرق يكون إما بالنبض (طرقة واحدة) أو من النوع الهزاز. الأجسام التى تفقد الشحنة للصرف يتم تجميعها فى حلة القادوس عند قاع الوحدة حيث تزال للتخلص النهائى (عادة بالردم فى التربة).

جهاز الترسيب الكهروستاتيكى يمكنه إزالة الأجسام الصغيرة حتى قطر ١ مليميكرون بكفاءة تزيد عن ٩٩%. بالنسبة للأجسام الأكبر قد تزيد كفاءة الازاله عن ٩٩% عندما يكون تركيز الأجسام العالقة فى الغاز الحامل مرتفعا، يتم عادة إنشاء غرفة ترسيب بالجاذبية أو الفرز الدوامى الحلزونى قبل المرسب الكهروستاتيكى وذلك للنظافة الأولية للغاز.

كفاءة الإزالة للمرسب الكهروستاتيكى شديدة الحساسية بالنسبة لسرعة وتوزيع مسار تدفق الغاز عبر الألواح. التدفق يجب أن يكون بطيئا ومنتظما، خلال كل الألواح بالتساوى ومن القمة إلى القاع. كفاءة الإزالة هى كذلك دلالة لإجمالى المساحة السطحية للجمع ويمكن التعبير عنها بالمعادلة الآتية :

$$E = 100 \times (1- e^{-WA/Q})$$

حيث :

E = النسبة المئوية للكفاءة الإزالة

E = الأساس اللوغاريتمى العالمى.

W = هى السرعة المؤثرة لتيار التدفق

A = المساحة الكلية

Q = معدل تدفق الغاز خلال الوحدة

السرعة المؤثرة لتيار التدفق، تعرف بالسرعة التى عندها يقترب الجسم من اللوح فى المجال الكهربى، يتم الحصول عليها من التجارب النصف صناعة (Pilot Studies).

مثال رقم (٦) :

ما هى الكفاءة المتوقعة للمرسب الكهروستاتيكى الذى له إجمالى مساحة سطحية للألواح ٥٠٠٠ متر مربع، معدل سريان ١٥٠ متر مكعب فى الثانية، السرعة المؤثرة

لتيار التدفق ٠,١ متر فى الثانية؟. ما هى الكفاءة فى حالة زيادة مساحة الألواح إلى ٧٥٠٠ متر مربع أو إلى ١٠٠٠٠ متر مربع.

الحل :

بالنسبة لمساحة ٥٠٠٠ متر مربع:

$$E = 100 \times (1 - e^{-0.1 \times 5000 \times 150})$$

$$= 96.4\ \%$$

بالنسبة لمساحة ٧٥٠٠ متر مربع

$$E = 100 \times (1- e^{0.1 \times 7500 \times 150})$$

$$= 99.3\ \%$$

بالنسبة لمساحة ١٠٠٠٠ متر مربع

$$E = 100 \times (1- e^{0.1 \times 10000 \times 150})$$

$$= 99.9\ \%$$

يمكن ملاحظة أنه أعلى من ٩٩% كفاءة، فإن الزيادة النسبية الكبيرة فى مساحة سطح جهاز الجمع تحقق أدنى زيادة فى كفاءة الإزالة.

إقامة وحدات الترسيب فى وحدة إنتاج الطاقة أو فى مصنع يمثل استثمارات ضخمة للمالك. كفاءة الإزالة هو الضامن لها بما يحقق التطابق مع قوانين حماية البيئة بالنسبة لنوعية الهواء. لهذا فإن صانع جهاز الترسيب الكهروستاتيكى يقوم ببناء واختيار نموذج مطابق لكل وحدة فى المعمل وذلك قبل الإنشاء فى الموقع. بهذا فإن الترتيب والشكل المطلوب لأعمال الأنابيب، والعوائق يمكن تحديدها مسبقاً لتوفير سرعات سريان متساوية عبر الألواح.

رغم أن تكاليف الإنشاء ومتطلبات المساحة الأرضية كلاهما مرتفعاً إلا أن تكاليف التشغيل للمرسب الكهروستاتيكى منخفضة نسبياً. يمكن تداول تدفقات الغاز العالية حتى ٥ مليون قدم مكعب فى الدقيقة وعند درجة حرارة حتى ٦٥٠°م بكفاءة. الجسيمات ذات حجم من ٠,٠٥ إلى ٢٠٠ مليميكرون يمكن إزالتها بالمرسب الكهروستاتيكى مع فقد قليل جداً فى الضغط.

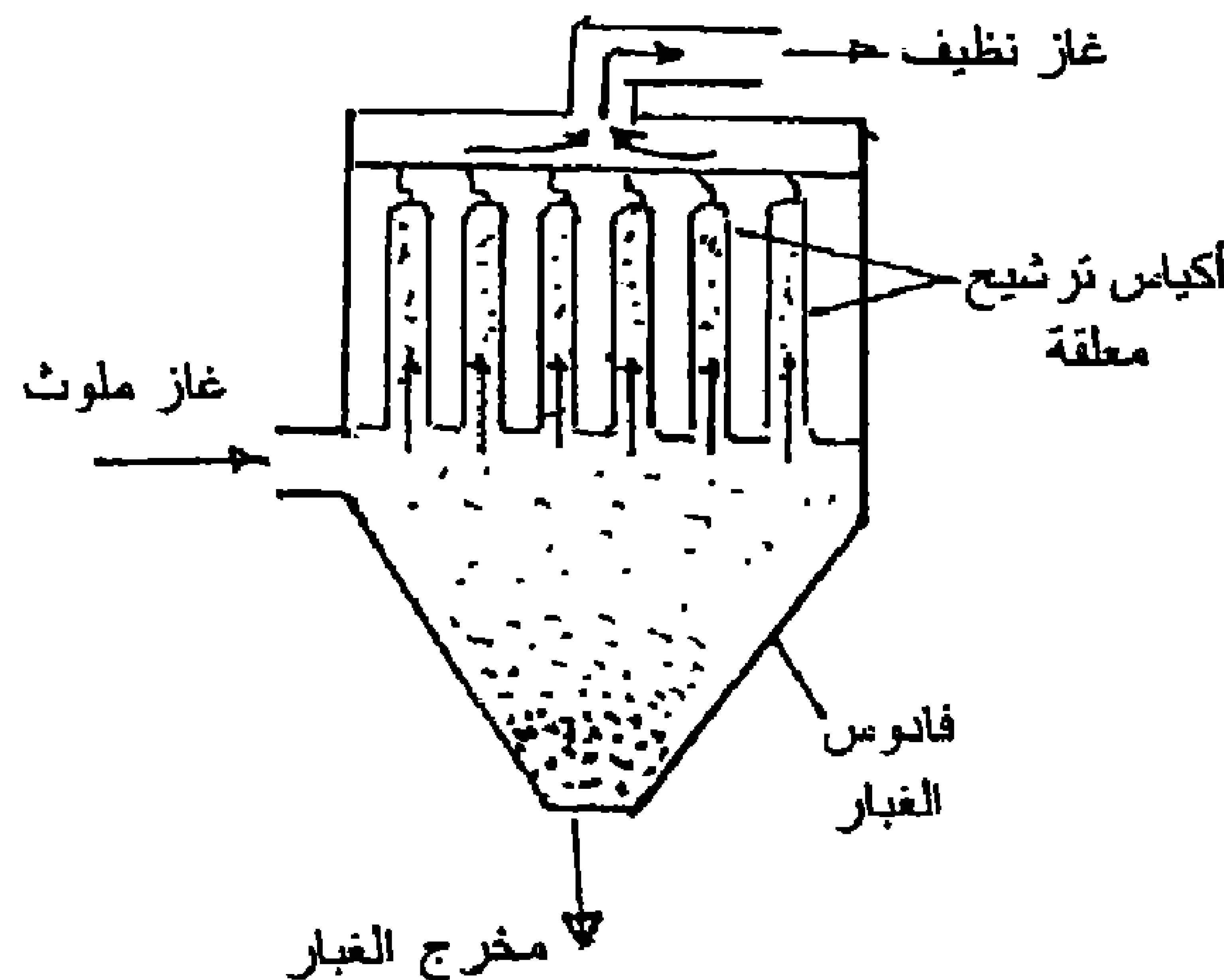
المرشحات النسيجية : (Fabric Filters)

من بين أفضل التجهيزات لإزالة الجسيمات العالقة من تدفقات الغاز هى المرشح من النسيج والذى يسمى عادة (Bag house)، المرشح النسيجى يشمل سلسلة من المرشحات النسيجية فى شكل جيوب طويلة وضيقة، والتى تكون معلقة بشكل مقلوب فى وعاء ضخم الموضح فى الشكل (٦/٢٦). الجيوب (Bags) تكون عادة بقطر ما بين ١٢٥، ٣٠٠ مليمتر.

الغاز المحمل بالغبار يتم دفعة خلال قاع الوعاء الضخم بواسطة مراوح، الجسيمات تحتجز داخل جيوب الترشيح النسيجية، بينما يمر الغاز خلال نسيج المرشح ويخرج من أعلى الوعاء. المرشح النسيجى هو من أقدم تجهيزات تنظيف الهواء والتى تستخدم عادة، حيث يوجد فى الولايات المتحدة ما يزيد عن ٢٠٠٠٠٠ من هذا النوع.

كفاءة الإزالة لمرشح جمع الغبار النسيجى يمكن أن تصل إلى ١٠٠% للأجسام ذات قطر أصغر من ١ مليميكرون، والأجسام الصغيرة حتى ٠,٠١ مليميكرون يمكن إزالتها إلى حد كبير. ولكن المرشحات النسيجية تسبب فقداً كبيراً فى الضغط وهى مكلفة من ناحية التشغيل والصيانة، كما أن الغاز الحامل يجب أن يتم تبريده قبل المرور خلال الوحدة، ومواسير التبريد اللازمة لهذا الغرض تضيف إلى التكاليف.

إنشاءات المرشحات النسيجية تقسم إلى إما أن تكون ذات طاقة منخفضة (تتداول حتى قليلاً من آلاف القدم المكعب فى الدقيقة) أو ذات طاقة متوسطة (تتداول حتى ١٠٠٠٠٠ قدم مكعب فى الدقيقة) أو ذات طاقة عالية (تتداول حتى واحد مليون قدم مكعب فى الدقيقة).



شكل (٦/٢٦) مقطع فى مرشح الأكياس. يمكن التنظيف بالاهتزاز الميكانيكى

عادة يتم استخدام غرف الترسيب بالجاذبية أو الترسيب بالسيلكون الحلزوني قبل استخدام المرشح الذى يعمل بالجيوب النسيجية وذلك لخفض حمل الأجسام على جيوب المرشح وكذلك لتقليل دورات النظافة الزمنية للجيوب. يستخدم عادة عدة أقسام لمرشحات الجيوب النسيجية فى وحدة المرشحات الواحدة بما يمكن من نظافة أحد الأقسام بينما تظل الأقسام الأخرى فى الاستخدام. الجيوب يتم نظافتها بواحد من عدة طرق والأجسام التى يتم تجميعها تزال للتخلص النهائى.

توجد ثلاث طرق هامة لنظافة المرشح وتشمل الهزازات (Shakers)، النظافة بعكس التدفق (Reverse Flow) نبضة الانبثاق للتنظيف (Pulse Jet Cleaning). نظام النظافة بالاهتزاز يفصل الغبار المتجمع من النسيج بالاهتزاز الميكانيكى وذلك باستخدام آلية تعمل بالمحرك أعلى الجيب. تدفق الغاز الحامل الملوث يتم إيقافه أثناء عملية التنظيف المتقطع، يتم تنظيف قسم ترشيح واحد فقط فى كل مرة وذلك بعد عزله. بعد دقيقة تقريباً من الاهتزاز فإن الغبار يرسب ثم تستأنف عملية الترشيح.

فى النظافة بعكس التدفق يتم فصل الغبار عن النسيج بالتدفق العكسى منخفض الضغط للهواء، فى استخدامات درجة الحرارة العالية، فإن استخدام الغاز النظيف الساخن بديلاً عن الهواء الذى فى درجة حرارة الجو. التدفق العكسى للهواء أو الغاز يتم بواسطة مروحة منفصلة، والتى تكون أصغر كثيراً عن مروحة النظام الرئيسى.

جيوب المرشح عموماً تحتوى على حلقات التى تحافظ على عدم الانهيار أثناء انعكاس التدفق. النظافة بالتدفق العكسى تستخدم أساساً فى المنشآت التى تعمل بالجيوب النسيجية ذات الطاقة العالية. فى طريقة النظافة بنبض الانبثاق، فإن النبضات للهواء المضغوط عالى الضغط تسبب موجات صدمية التى تعمل على تخلص الغبار من سطح نسيج الجيب. النبضات تستمر فقط لجزء من الثانية، ووحدة المرشح لا تحتاج إلى التقسيم لنظافة وحدات معزولة، كل جيب يتم نبضه كل عدد قليل من الدقائق، بما يسمح بالتدفق المستمر للهواء المحمل بالغبار خلال وحدة المرشح. كل جيب يكون بداخله حلقات أقفص لمنعه من الانهيار.

التحكم فى الغازات : (Control of Gases)

ملوثات الهواء الغازية يمكن التحكم فيها باستخدام طرق الامتصاص والادمصاص (Absorbtion and adsortion) تشبه للتقنيات المستخدمة لأخذ عينات الهواء، ولكن على

مستوى أكبر وأضخم. الطريقة الثالثة فى التحكم فى إنبعاثات الغازات تشمل الحرق. طريقة التحكم المطلوبة يتم اختيارها على أساس خواص وطبيعة الغاز أو البخار الجارى التعامل معه.

التعبير غاز (Gas) أو بخار (Vapour) عادة يتم استخدامه بشكل متماثل، ولكن يوجد اختلاف واضح بين الاثنين – الفرق هو أن الغاز لا يتم تكثيفه بسرعة إلى الحالة السائلة، بينما البخار، رغم أنه موجود فى الحالة الغازية فإنه يمكن أن يتحول إلى سائل. البخار يمكن أن يوجد كجزئيات منتشرة وحرة الحركة عند درجة حرارة ليست بعيدة عن نقطة الندى (Dew point)، أو درجة الحرارة التى عندها البخار النقى عند الضغط الجوى سوف يتكثف إلى الشكل السائل. الأكسجين والنيتروجين فى الهواء الجوى، كمثال، يعتبرون غازات، ولكن الماء أو الرطوبة فى الهواء تعتبر بخاراً. معظم الكيماويات العضوية المتطايرة (Volatile Organic Chemicals - VOC'S) هى أبخرة (مع استثناءات قليلة مثل الميثان والمركبات الأخرى VOC'S ذات درجة حرارة الغليان المنخفضة). التفرقة والتمييز بين الغازات والأبخرة يعتبر هاماً حيث تستخدم تقنيات مختلفة للتحكم. الأبخرة كمثال، سريعة الادمصاص على الأسطح أو التكثيف إلى الحالة السائلة.

الامتصاص : (Absorbtion)

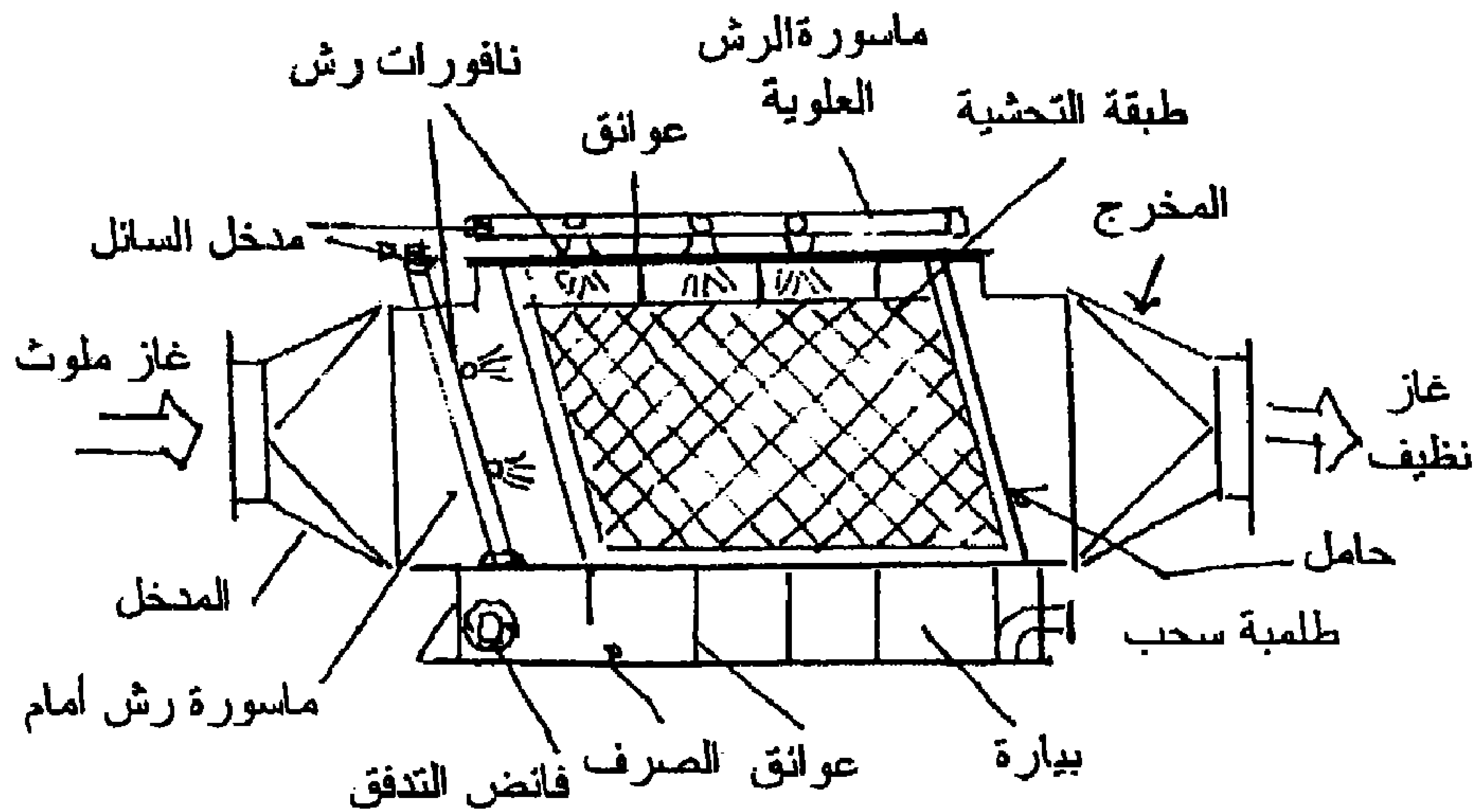
تحول الملوث الغازى إلى سائل التصاق مثل الماء هو عملية امتصاص، إما أن الغاز يجب أن يكون مذاباً فى السائل أو باستخدام سائل نشط للامتصاص لاحتجاز الملوث بالتفاعل الكيماوى. كفاءة إزالة الغاز تتوقف على إذابة أو قدرة التفاعل للغاز، معدل سريان الغاز والسائل، وزمن الالتصاق بين الغاز والسائل. استخدامات امتصاص الغاز للتحكم فى تلوث الهواء تشمل إزالة ثانى أكسيد الكبريت من مصادر الاحتراق، استعادة الأمونيا فى صناعة الأسمدة، والتحكم فى الرائحة من المصانع المسببة لها. أجهزة الغسيل الرطب التى تشبه تلك المستخدمة فى التحكم فى المواد العالقة يمكن أن تستخدم فى امتصاص الغاز. يمكن كذلك امتصاص الغاز فى أبراج الترشيح (Packed Towers). النوع العادى هو البرج ذو التدفق المعاكس. بعد دخول قاع البرج يتدفق الغاز إلى أعلى خلال عامود من مادة الحشو مبللة وخفيفة وخاملة كيماويا. ينساب السائل إلى أسفل ويتم توزيعه بانتظام خلال مادة الحشو للبرج، والذى يزيد مساحة الالتصاق بين الغاز والسائل. المستخدمة عادة هى مادة من نوع الثيرموبلاستيك فى حالة امتصاص الغاز، وأحياناً

تستخدم معادن معينة أو مواد من السيراميك. أجهزة الغسيل بالتيار المعاكس لها كفاءة ما بين ٩٠ إلى ٩٥%.

تصميمات الأبراج ذات الحشو للغسيل بالتدفق الموازى أو المتعامد :

Cocurrent and Crossflow Packed Crubber

فى تصميم التيار الموازى فإن تدفقات كلاً من الغاز والسائل تتم فى نفس الاتجاه عمودياً إلى أسفل خلال برج الغسيل. رغم أنه ليس بكفاءة تصميم التدفق المعاكس، إلا أنه يمكن أن يعمل عند معدلات تدفق أعلى للسائل لمنع انسداد مواد الحشو عندما توجد أحمال عالية من الجسيمات فى الغاز الحامل. كذلك فإن الفقد فى الضغط يمكن أن يكون منخفضاً ومساحة البرج يمكن أن تنخفض. تصميم التدفق العمودى حيث يتدفق الغاز أفقيا خلال مادة الحشو للبرج بينما السائل يتدفق عمودياً إلى أسفل، هذا التصميم يمكن كذلك أن يعمل مع الفقد القليل فى الضغط عند وجود أحمال عالية من الجسيمات. جهاز الغسيل بالتدفق المتعامد موضح فى الشكل (٦/٢٧).



شكل (٦/٢٧) الغسيل بالتدفق المتعامد (المتقاطع)

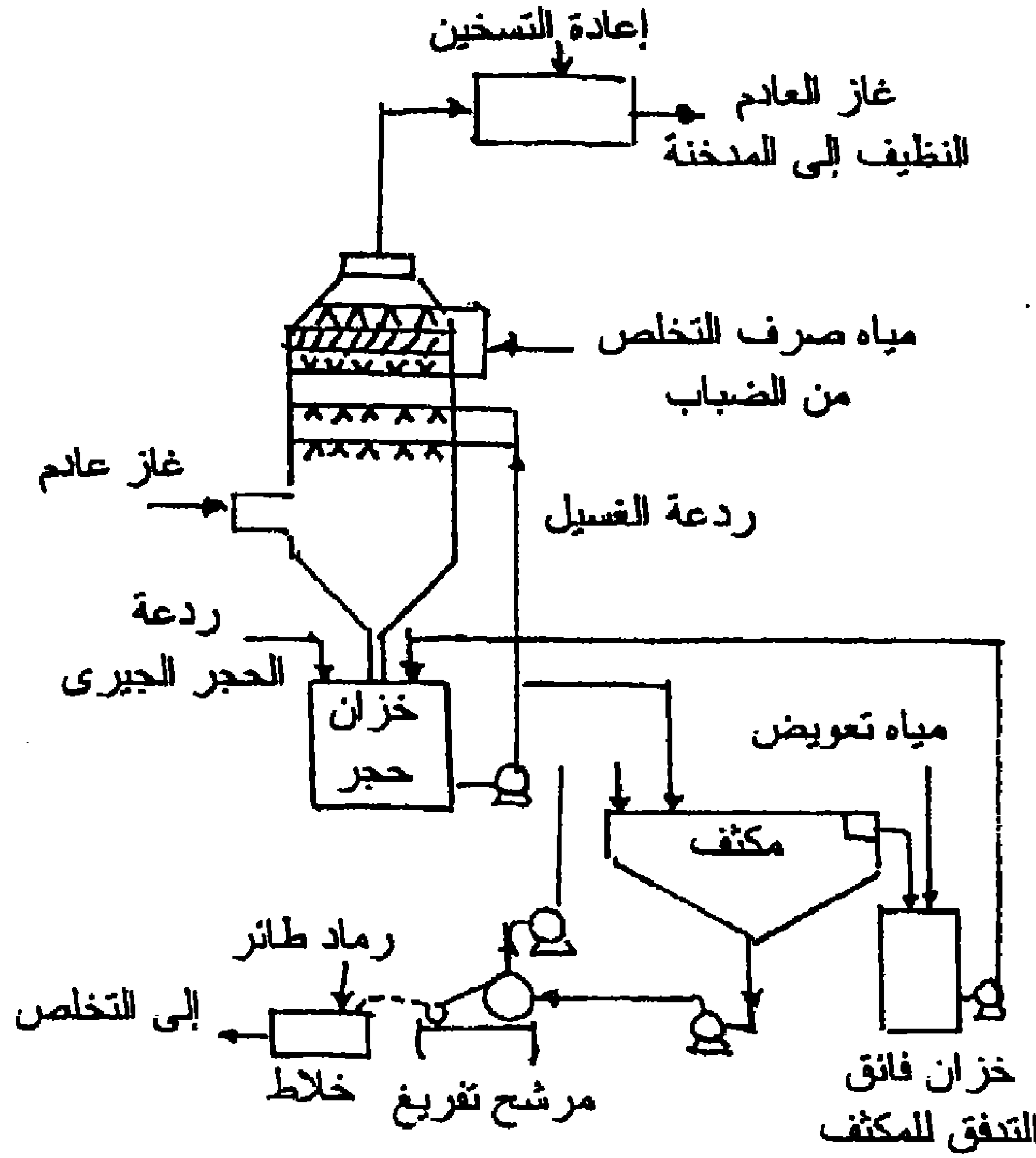
إزالة الكبريت من الغاز العادم : (Flue Gas Desulfurization)

أكاسيد الكبريت أحد الملوثات الرئيسية للهواء، التى تنبعث من محطات الطاقة التى تعمل بالفحم يمكن التحكم فيها بامتصاص الغاز فى برج الغسيل بالإضافة إلى طرق متعددة أخرى. البدائل تشمل التحول إلى وقود بمحتوى منخفض من الكبريت (أى الغاز الطبيعى أو الوقود السائل) أو بإزالة الكبريت من الفحم.

البديل المبنى على الامتصاص يسمى إزالة الكبريت من الغاز العادم، هذا النظام قد يشمل الغسيل الرطب أو الغسيل الجاف. فى الغسيل الرطب يتم التصاق الغازات العادمة مع السائل الماص، حيث يتفاعل ثانى أكسيد الكبريت معه أو يذوب فيه. وهذا يكون ردغة (Slurry) أو سائل الذى يحتوى على مركبات الكبريت. نظام الغسيل الجاف يوفر خفض فى التكاليف وفى الطاقة وكذا سهولة فى التشغيل مقارنة بالنظام الرطب، ولكنه يتطلب استهلاك أعلى للكيماويات وهو محدد فى حالة استخدامات الفحم ذو المحتوى المنخفض من الكبريت. نظم إزالة الكبريت من الغاز العادم تنقسم كذلك إلى المتجددة والغير متجددة. معظم النظم تكون غير متجددة بسبب انخفاض تكاليف الرأسمالية وتكاليف التشغيل. وهذه تنتج حماة التى تتطلب التخلص المناسب. الأنظمة المتجددة ليست عادية، حيث تتطلب خطوات إضافية لتحويل ثانى أكسيد الكبريت إلى منتج ثانى مفيد مثل حامض الكبريتيك.

أحد الطرق المتعددة لإزالة الكبريت من الغاز العادم تتضمن الالتصاق بين ثانى أكسيد الكبريت والجير الحى (Cao) فى جهاز الغسيل الرطب.

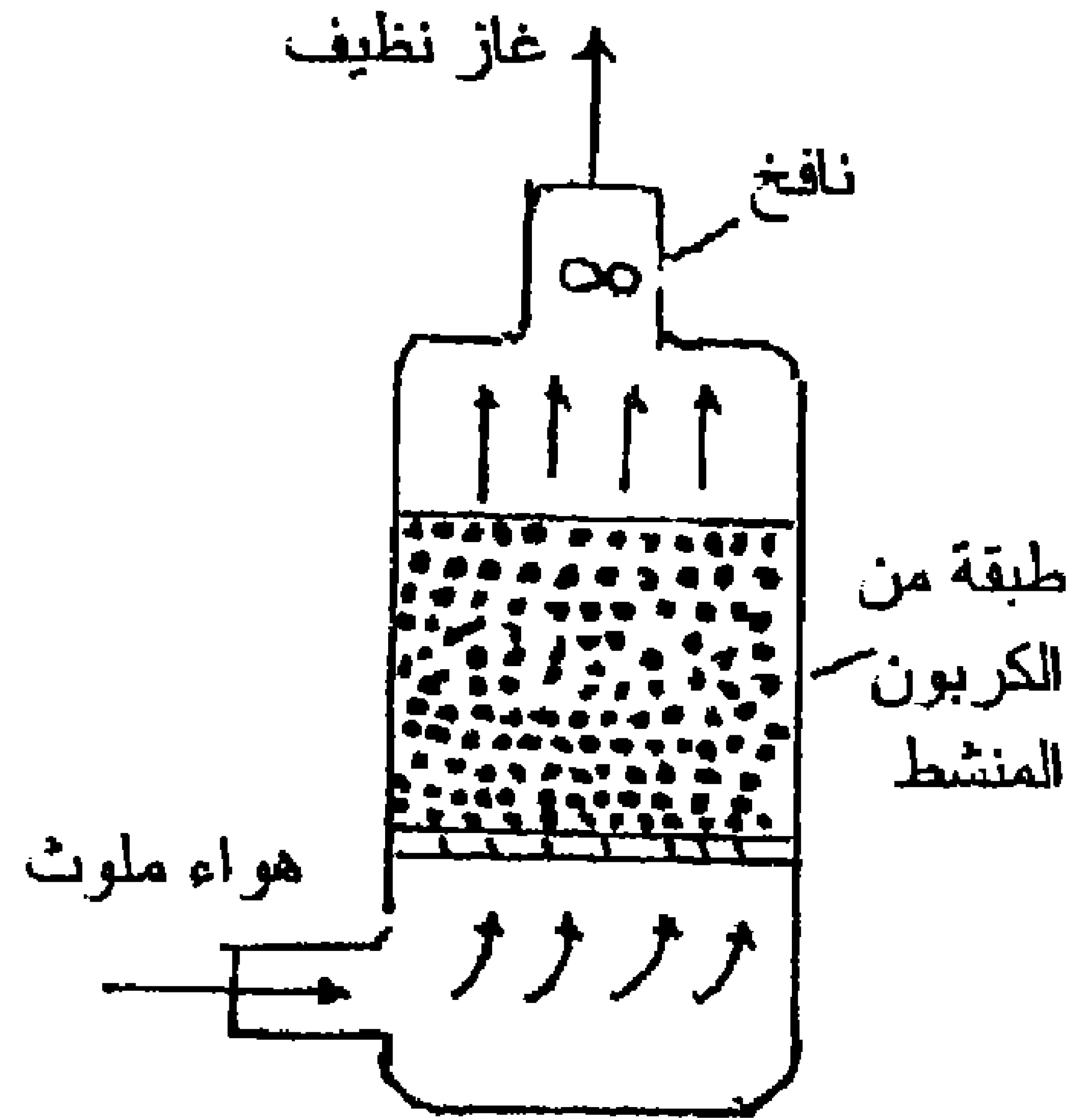
يتفاعل الجير الحى أولاً مع الماء لإنتاج لبن الجير ($Ca(OH)_2$). فى عملية الغسيل بالجير هذه يتفاعل ثانى أكسيد الكبريت مع الكالسيوم من الجير المطفى مكوناً كبريتيت الكالسيوم وثانى أكسيد الكربون. فى حالة استخدام الحجر الجيرى ($CaCO_3$) بدلاً من الجير الحى فإنه يتكون كبريتات الكالسيوم. طريقة الجير المطفى أكثر كفاءة (حتى ٩٥%) مقارنة بعملية الحجر الجيرى. كلاً من كبريتيت الكالسيوم وكبريتات الكالسيوم ليسا شديدى الإذابة فى الماء حيث يمكن ترسيبهما كردغة بالترسيب بالجاذبية. هذه الردغة الكثيفة تسمى حماة إزالة الكبريت من الغاز العادم، وهى تشكل مشكلة للتخلص النهائى من الحماة. عملية إزالة الكبريت من الغاز العادم تساعد فى خفض مستوى ثانى أكسيد الكبريت فى الهواء وتحد من مشكلة المطر الحمضى. ولكن بالإضافة إلى التكاليف فإنه تظل مشكلة التخلص من الحماة التى تصل إلى آلاف الأطنان (أو ملايين الأطنان طبقاً لعدد محطات الطاقة) كل عام. مخطط لنظام الغسيل بالحجر الجيرى موضح فى الشكل (٦/٢٨).



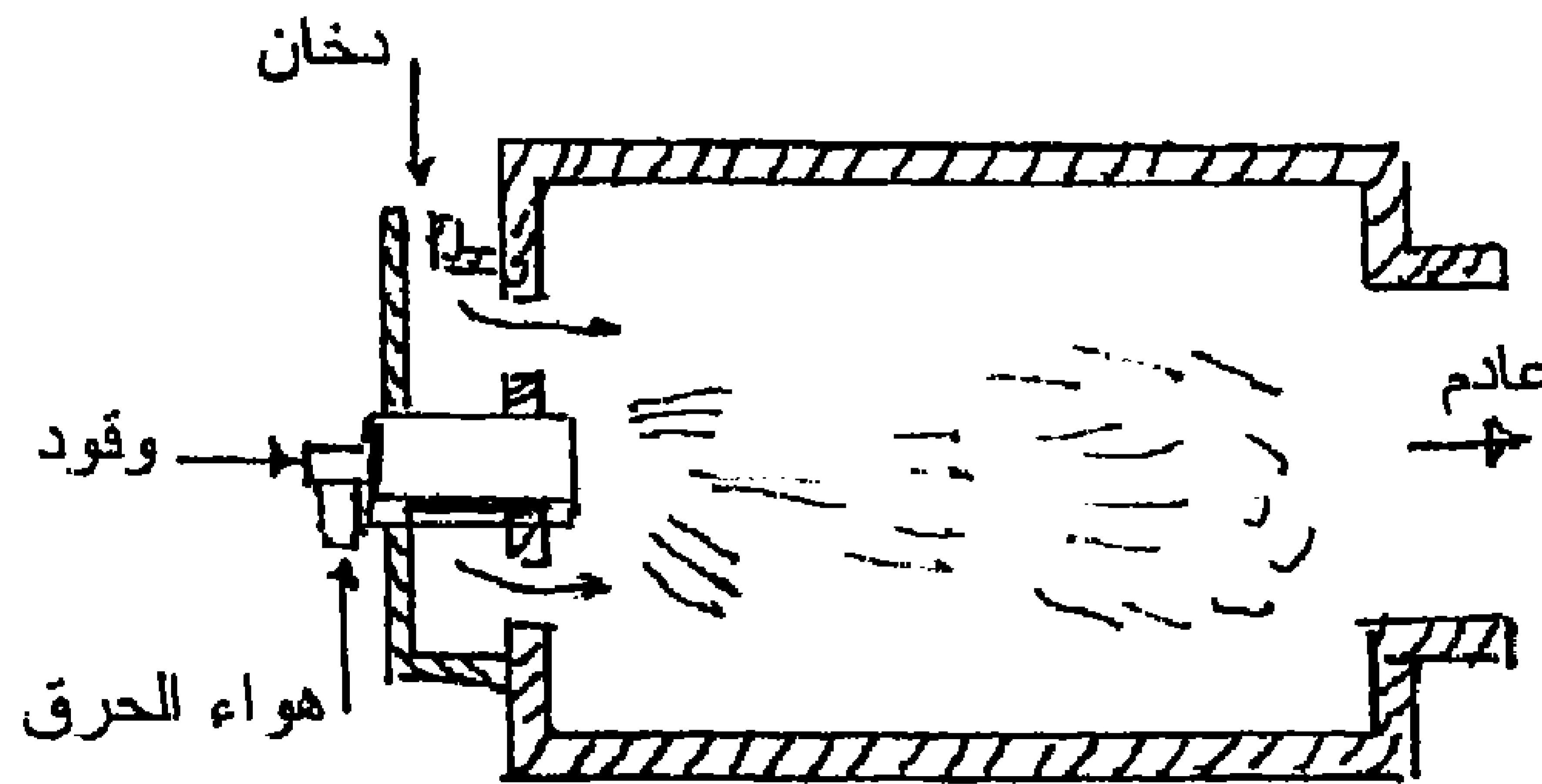
شكل (٦/٢٨) إزالة الكبريت من الغازات العادمة بالحجر الجيرى

<u>الادمصاص : (Adsorbtion)</u>

ادمصاص الغاز مقارنة بالإمتصاص هو ظاهرة سطحية. جزئيات الغاز يتم ادمصاصها (اقزازها) أى تلتصق وتظل معلقة على السطح الصلب. الكربون المنشط هو واحد من أهم مواد الادمصاص، فهو عالى المسامية وله نسبة عالية جداً ما بين المساحة السطحية إلى الحجم. الكربون المنشط (وهو الفحم النباتى أو الحيوانى الذى يتم تسخينه) مفيد بالتحديد كمادة ادمصاص لتنقية الغازات المحتوية على أبخرة عضوية وكذلك لاستعادة المذيب والتحكم فى الرائحة. وحدة ادمصاص الكربون المصممة جيداً يمكن أن تكون كفاءتها أكثر من ٩٥%. الشكل (٦/٢٩) مخطط لنظام الادمصاص بالكربون المنشط.



شكل (٦/٢٩) يمكن استخدام الكربون المنشط فى ادمصاص ملوثات معينة للهواء.



شكل (٦/٣٠) مخطط للحرق الحرارى

الحرق : (Incineration)

عملية الاحتراق (Combustion) أو الحرق (Incineration) والتى هى الأكسدة السريعة يمكن أن تستخدم لتحويل الكيماويات العضوية المتطايرة والملوثات الأخرى العضوية الغازية إلى ثانى أكسيد الكربون وماء.حرق الكيماويات العضوية المتطايرة وأدخنة الهيدروكربونات يمكن تنفيذه فى محرقة حرارية أو (After Burner) كما هو موضح فى المخطط شكل (٦/٣٠). لتحقيق الاحتراق الكامل فإنه يجب أن يحقق التصميم القدر المناسب من الاضطراب (Turblence)، زمن الحرق. درجات الحرارة العالية الكافية. استمرار الاضطراب الجيد (الخلط) هو العامل الحاسم فى الحرق ذلك لأنه يقلل الزمن المطلوب للاحتراق ودرجة الحرارة. يمكن استخدام عملية تسمى الحرق باللهب

المباشر (Direct flame Incineration) عندما يكون الغاز العادم هو خليط قابل للاحتراق بذاته، ولا يحتاج لإضافة هواء إضافى أو وقود.

المحارق الحرارية تصنع من غلاف من الصلب مبطن بالطوب الحرارى بسمك ١٠٠ إلى ٢٠٠ مليمتر. التبطين الحرارى يحمى الغلاف من معدن الصلب ويعمل كعازل. درجة الحرارة يمكن أن ترتفع إلى ١١٠٠°م داخل غرفة الاحتراق، ولكنها أقل من ١٠٠°م على السطح الخارجى للغلاف الصلب.

الحرق يمكن أن يكون بكفاءة عالية جداً (حتى ٩٩,٩٥%) مع الوقت الكافى ودرجة الحرارة العالية الكافية، حيث المواد العضوية يمكن أن تتأكسد تماماً. الانخفاض الكلى فى انبعاثات المواد العضوية المتطايرة من المصدر يتوقف ليس فقط على كفاءة المؤكسد الحرارى، ولكن كذلك على كفاءة الاقتناص (Capture Efficieny) للنظام والتى يعنى بها الجزء المنبعث من الملوثات الذى يرسل فعلاً خلال جهاز الحرق. الكيماويات العضوية المتطايرة التى تهرب من الاقتناص تسمى الانبعاثات الشاردة. الكفاءة الكلية للنظام تساوى ناتج الكفاءة بعد الحرق وكفاءة الاقتناص. فمثلاً، إذا كانت كفاءة الاحتراق ٩٨% وكفاءة الاقتناص هى فقط ٥٠% عندئذ فإن الكفاءة الكلية للتحكم فى التلوث هى ٠,٥ × ٠,٩٩ أو ٤٩%. الاقتناص بنسبة كفاءة ١٠٠% يمكن تحقيقه فى الغلق الكلى حيث كل تدفق الهواء يكون إلى داخل السياج المغلق، عدا بالنسبة لنقط العادم، والتى يتم توجيهها إلى الحارق.

مواد معينة مثل البلاتين، يمكن أن تعمل بالطريقة التى تساعد الاحتراق أو تفاعل الأكسدة. مثل هذه المواد تسمى عوامل وسيطه (Catalysts) حيث تحقق الأكسدة الكاملة للغازات القابلة للاحتراق عند درجات الحرارة المنخفضة. الحارق الحفاز (Catalytic Incinerator) يحقق حدوث تفاعلات الاحتراق بسرعة وعند درجة حرارة منخفضة حتى ٤٠٠°م. تجهيزات الحرق التى تسمى المحولات الحفازة Catalytic convertors.تنشأ فى نظام العادم للسيارات لخفض انبعاثات أول أكسيد الكربون والهيدروكربونات بأكسدتها إلى H_2O , CO_2 نظم اللهب المباشر هى طريقة أخرى للحرق للتخلص الآمن من الغازات (مثل غاز الميثان فى معامل تكرير البترول)، وفى مصانع الكيماويات..الخ. يتم الصرف المستمر للغاز من مدخنة مرتفعة، حيث يحدث الاحتراق فى غرفة عند أعلى المدخنة. يمكن استخدام دافع (Blower) لدفع الهواء وتوفير الخلط المطلوب للحرق بدون دخان للغازات العادمة.

التحكم في انبعاثات المصادر المتحركة :

(Emission Control for Mobile sources)

السيارات، اللوريات، الأوتوبيسات، الدرجات البخارية ..الخ هي المصادر الرئيسية المتحركة لتلوث الهواء، رغم أن القوارب، القطارات، الطائرات تساهم في المشكلة. إنبعاثات التلوث من هذه المصادر المتحركة كبيرة. فمثلاً في عام ١٩٩٠ حوالي ثلثي انبعاثات أول أكسيد الكربون في الولايات المتحدة كان مصدره المصادر المتحركة ومعظمها من السيارات، في بعض المناطق المتحضرة قد تصل انبعاثات أول أكسيد الكربون من هذه المصادر إلى ٩٥%. ولكن نظراً لحركة هذه المصادر وكثرة عددها بما يوجد صعوبة في التحكم من انبعاثاتها مقارنة بالمصادر الثابتة. كذلك فإن المصادر المتحركة هي قريبة من المستقبل – المواطنين الذين يعيشون في المدن خاصة.

بالإضافة إلى أول أكسيد الكربون، فإن الانبعاثات المتحركة تشمل أكسيدالنيتروجين والمركبات العضوية المتطايرة. ثاني أكسيد الكبريت وانبعاثات الجسيمات أقل بالنسبة للمشكلة، بسبب إزالة الكبريت من الوقود (Desulfurization)، انخفاض عدد السيارات التي تعمل بوقود الديزل، والحالة الجيدة لمحركات السيارات. في كثير من الدول تكون انبعاثات ثاني أكسيد الكبريت والجسيمات ذات علاقة بالتلوث وكذلك انبعاثات الرصاص والذي تم إبعاده بعد استخدام الجازولين الخالي من الرصاص (Unleaded Gasoline).

محركات الاحتراق الداخلي : (Internal Compustion Engines)

محركات الاحتراق الداخلي التي تعمل بحرق الجازولين وذات الأربع أشواط (Four Stroke) هي من أكبر المركبات على الطرق العامة ذلك رغم وجود أنواع أخرى مستخدمة أيضاً وخاصة في الدول النامية. توجد أربع نقط انبعاث رئيسية من محركات الاحتراق الداخلي، شاملة العادم أو الشكمان، صرف علبة المرافق (Crank case)، المكربن (Carburetor)، خزان الوقود. الهيدروكربونات وأول أكسيد الكربون. وأكاسيد النيتروجين تأتي من العادم، الجازولين الغير محروق والهيدروكربونات يأتيان من علبة المرافق، والهيدروكرونات تتبخر من كل من المكربن وخزان الوقود.

الفقد بالبخر من خزان الوقود والمكربن يتم التحكم فيها باستخدام مكثف الكربون المنشط الذي يحتجز (Stores) الأبخرة المنبعثة عند توقف المحرك. عند تشغيل المحرك فإن الأبخرة تسيل من علبة المرشح (Canister) وتحترق في المحرك. انبعاثات عامود الإدارة يتم التحكم فيها بواسطة نظام التهوية الموجبة لعامود الإدارة والذي يعمل على

تدوير الغازات التى تنزلق بواسطة حلقات منع التسرب للكباس (Piston) إلى وصلات المأخذ للمحرك. يستخدم محبس عدم الرجوع من البى فى سى لمنع تراكم الضغط فى علبة المرافق للمحرك.

انبعاثات العادم من ماسورة عادم السيارة والذى يمثل حوالى ٦٠% من انبعاثات الهيدروكرونات وكل انبعاثات أول أكسيد الكربون وأكسيد النيتروجين، تتوقف على طريقة عمل السيارة. زيادة السرعة ينتج عنها خفض انبعاثات أول أكسيد الكربون والهيدروكربونات ولكن انبعاثات أكاسيد النيتروجين تزداد، تبطئ السرعة ينتج عنه انخفاض انبعاثات أكاسيد النيتروجين ولكن مستويات الهيدروكربونات تزداد كثيراً من الحرق الغير كامل للوقود. بسب هذه المتغيرات فإن طرق اختيار انبعاثات العادم أصبحت موصفة (Standardized) بحيث تكون نتائج الاختبارات ذات معنى.

انبعاثات العادم من ماسورة عادم السيارة يتم التحكم فيها باستخدام المحول الحفار (Catalytic Converter) وهذه تجهيزة يتم تركيبها فى ماسورة العادم قبل كاتم صوت العادم (Muffler). وهذا يسمى بالأكسدة الكاملة للغازات القابلة للاحتراق فى العادم عند درجة حرارة منخفضة نسبياً، هذا بالإضافة إلى أن المحول الحفاز يسبب عدم حدوث دخان فى الاحتراق. أول أكسيد الكربون والهيدروكربونات الغير محترقة فى العادم تتحول إلى ثانى أكسيد الكربون والماء. ولكن أى كبريت فى الجازولين يتأكسد إلى جسيمات ثالث أكسيد الكبريت، وبذا تزداد مستويات الكبريت فى الهواء.

لزيادة الخفض فى انبعاثات التلوث من محركات السيارات التى تعمل بالجازولين، فإنه يمكن تطوير معالم معينة لتشغيل أو تصميم المحرك. فمثلاً، زيادة نسبة الهواء إلى الوقود تساعد على الاحتراق وبذا تقل انبعاثات أول أكسيد الكربون والهيدروكربونات. المكربن ليس بالكفاءة الجيدة نحو التحكم الدقيق فى نسبة الهواء إلى الوقود، السيارات الجديدة مزودة حالياً بالتحكم الآلى فى حاقنات الوقود والذى يعيق أقصى كفاءة لخليط الهواء والوقود لمختلف حالات القيادة للسيارة.

تصميم هام آخر الذى يؤثر على الانبعاثات يشمل نسب الضغط وتوقيتات شمعات الإشعال. نسب الضغط العالية تنتج قوة أكبر، ولكن درجة الحرارة المرتفعة المصاحبة تنتج انبعاثات أكثر من أكسيد النيتروجين. انبعاثات الهيدروكاربون وأكسيد النيتروجين يمكن خفضهما بتأخير الاشعال، ولكن هذا يقلل من كفاءة المحرك. من الواضح فإن

التحكم فى الانبعاثات الملوثة للهواء من محركات الاحتراق الداخلى هى مشكلة معقدة. نتيجة للسيطرة على الانبعاثات من محركات الاحتراق الداخلى التى تعمل بالجازولين، فإن السيارات يمكن أن تخفض من انبعاثات التلوث بنسبة ٦٠%، ولكن إجمالى مسافات سير العربات تتضاعف باستمرار، حيث تظل هناك تحديات كثيرة لخفض تلوث الهواء من السيارات.

تغير الوقود :

مكونات الوقود هو عامل آخر للانبعاثات من المصادر المتحركة، حيث تغير أو تطوير الوقود يمكن أن يقوم بدور هام بالتحكم فى تلوث الهواء من هذه المصادر. إزالة الملوثات من الوقود طريقة واضحة لخفض التلوث. الرصاص الذى كان يتم خلطه مع الجازولين لزيادة الرقم الأكتينى وكفاءة المحرك هو من المواد التى تم استخدامها فى الجازولين. الهواء المحمل بالرصاص ليس فقط يشكل خطورة على الصحة ولكنه يتلف المحول الحفاز. وقد تم إيقاف استخدام الرصاص فى الجازولين حاليا.

مثال آخر للمواد الغير مرغوب فيها فى الجازولين وهو الكبريت، والذى لا يؤدى فقط إلى زيادة انبعاثات ثانى أكسيد الكبريت ولكن يتدخل مع عمل المحول الحفاز وبذا يساعد فى زيادة انبعاثات أول أكسيد الكربون والهيدروكربونات.

الوقود البديل الذى يمكن استبداله بالجازولين يشمل الغاز الطبيعى المضغوط، غاز البترول المسال، الميثانول، الإيثانول، البروبين، الهيدروجين. كلا من هذه المواد البديلة له مزاياه وكذلك له عيوبه. فمثلاً، الغاز الطبيعى المضغوط ينتج أول أكسيد الكربون وانبعاثات متطايرة بنسبة ٥٠% أقل ولا ينتج أهم مواد سامة فى الهواء مثل البنزين (C_6H_6)، ولكن مشكلته خاصة بالتداول والملء، والتخزين. غاز الهيدروجين لا ينتج أكاسيد الكربون أو الهيدروكربونات وله أكبر طاقة مختزنة مقارنة بأى وقود آخر، ولكن توجد تكنولوجيات عديدة ومشاكل أمان التى يلزم حلها وذلك قبل أن يصبح الهيدروجين الوقود البديل العملى للسيارات.

الجازولين المعدل :

الوقود المؤكسد (Oxygenated fuel) وهو الوقود المخلوط أو المشبع بالأكسجين ويحتوى على ما لا يقل عن ٢% بالوزن من المؤكسجات (Oxygates)، والتى تستبدل أو تخفف مركبات ذات احتياج أقل والتى تساعد على الحرق النظيف وخاصة فى الأجواء

الباردة. هذا الخلط مع الجازولين له حدود كذلك على كميات البنزين (C_6H_6) والسميات الأخرى وكذلك الهيدروكربونات التى يمكن أن تكون موجودة. هذه التقنية يمكن أن تخفض ابنعاثات الملوثات بنسبة ١٥% إلا أنها تزيد من أسعار الجازولين إلى الضعف أو إلى الأربعة أضعاف ورغم ذلك فإنها لا تحتاج إلى تحديث محطات التغذية بالجازولين أو تقنيات التغذية.

وقود الديزل :

بدئ فى وضع المواصفات لوقود الديزل والذى يعتبر مصدراً كبيراً للانبعاثات وذلك بالتخلص من الكبريت فى الوقود. الكبريت ينتج سناج والذى يعمل على انسداد المحول الحفاز للعربة. وهذا سوف ينطبق على المحركات التى تعمل بالديزل.

السيارات ذات الانبعاث صفر :

البديل لمحركات الاحتراق الداخلى يشمل العربات التى تعمل بالطاقة الشمسية أو بالكهرباء. استخدام الطاقة الشمسية مازال فى مرحلة التجارب ولكن العربات الكهربية تستخدم حالياً. وحالياً عربات ذات الانبعاث صفر هى التى تستخدم بطاريات الرصاص الحامضية لتخزين الكهرباء.

معظم المركبات التى تعمل بالكهرباء لها مجال ١٣٠ كيلو متراً فقط قبل الحاجة إلى إعادة شحن البطارية، ولذا تعتبر مكلفة مقارنة بالجازولين التقليدى بدرجة كبيرة جداً. بعض الباحثين يرى أن الانبعاثات من عمليات إنتاج الرصاص من المناجم وصهره وتدويره لتلبية احتياجات الأعداد الكبيرة من المركبات قد يشكل خطورة على الصحة العامة بالإضافة إلى الطاقة الكهربية الإضافية اللازمة لإعادة شحن البطاريات سيكون مصدرها محطات إنتاج الطاقة التى هى كذلك منتجة للملوثات. رغم أن السيارات التى تعمل بالكهرباء يمكن استخدامها فى الاستخدامات اليومية الخفيفة إلا أنه يلزم زيادة البحث والتطوير فى تكنولوجيا البطاريات وذلك قبل أن تصبح الوقود البديل لمحركات الاحتراق الداخلى.

السيارات المختلطة :

السيارة المختلطة هى التى يمكنها استخدام مصدرين للطاقة لتحريك العجلات. بعض صناع السيارات بدأوا فى عمل نموذج تجريبى (Prototype) من المحركات المختلطة التى تستخدم الجازولين مع المحرك الكهربى. المحرك الكهربى يحرك العربة حتى سرعة

حوالى ٢٠ كيلو متر فى الساعة حيث قبل ذلك تكون انبعاثات الجازولين عند أقصاها. أكثر من ٢٠ كيلو متر فى الساعة فإن السيارة الصغيرة نسبياً (١,٥ لتر) يبدأ محرك الجازولين فى العمل ويصبح المصدر الرئيسى للطاقة. المحرك الكهربى يمكن كذلك أن يعمل عندما يكون المطلوب قوة كبيرة كما فى حالة صعود تل. عند تشغيل محرك الجازولين فإنه كذلك يعيد شحن البطاريات ولذا فإن السيارة لا تحتاج إلى إعادة شحن خارجى، مثل هذه السيارات المختلطة من المحتمل استخدامها لحين ظهور تكنولوجيا جيدة تحقق صفر الانبعاث من السيارات.

الفصل السابع
التلوث السمعى والوقاية منه

مقدمـــة :

الصوت ربما يكون أسوأ منتجات أسلوب الحياة الميكانيكى الحديث. فهـو لا يمكـن اعتباره ضاراً أو مؤذياً مثل الملوثات لإمداد مياه الشرب من الكيماويات الضارة كمثال، ولكنه مشكلة تلوث تؤثر على صحة الإنسان وراحته كما يمكن أن تساهم فى الإفساد العام لنوعية البيئة. فهو يمكن أن يؤثر على الإنسان فى المنزل، فى مجتمعـة أو فـى مكانـه بالعمل.

التعريف البسيط، أن الضجيج هو صوت غير مرغوب فيه وغير مطلـوب، إنتـاج الصوت يتطلب طاقة، لذلك فإنه فى طريقة الكلام فإن الصوت هو شـكل مـن الطاقـة المفقودة. فهو ليس مادة يمكن أن تتراكم فى البيئة، مثل أى ملوثات أخرى، ولكن يمكـن تخفيفها بالمسافة من المصدر. كل الأصوات تأتى من مصدر الصوت، سواء كان المذياع، أو آلة، أو الصوت الآدمى، أو الطائرة أو الآلة الموسيقية. ليس كل الـضجيج (Sound) موسيقى وغناء (Voice). ما يمكن اعتباره موسيقى بالنسبة لشخص ما يمكـن أن يكـون ضجيج وصخب لشخص آخر. إلى حد ما فإن التلوث بفعل الضجيج يتوقف على ما يعتقد به.

الضجيج من حركة المرور على الطرق، الأنشطة الإنشائية، ومن المصادر الأخرى له اهتمام خاص لمهندس البيئة ومهندسى الهندسة المدنية. المعماريين، البنائين، مخططى العمران، المهتمين بالصحة العامة يساهمون فى المشاكل المرتبطة بالضجيج، مثل ما يفعل المسئولين عن الأمن الصحى الصناعى، صناع المعدات.

الضجيج (Noise) هو مشكلة موجودة فى كل مكان وواسعة الانتشار ويمكن أن يكون لها تأثير يتراوح ما بين الإزعاج للشخص إلى الفقد الكامل للسمع للأفراد. للتعرف علـى القوانين المنظمة للحد من أصوات الضجيج والإزعاج، فإنه يكون من الـضرورى تفهـم أساسيات الصوت وقياسه وتأثيرات الضجيج.

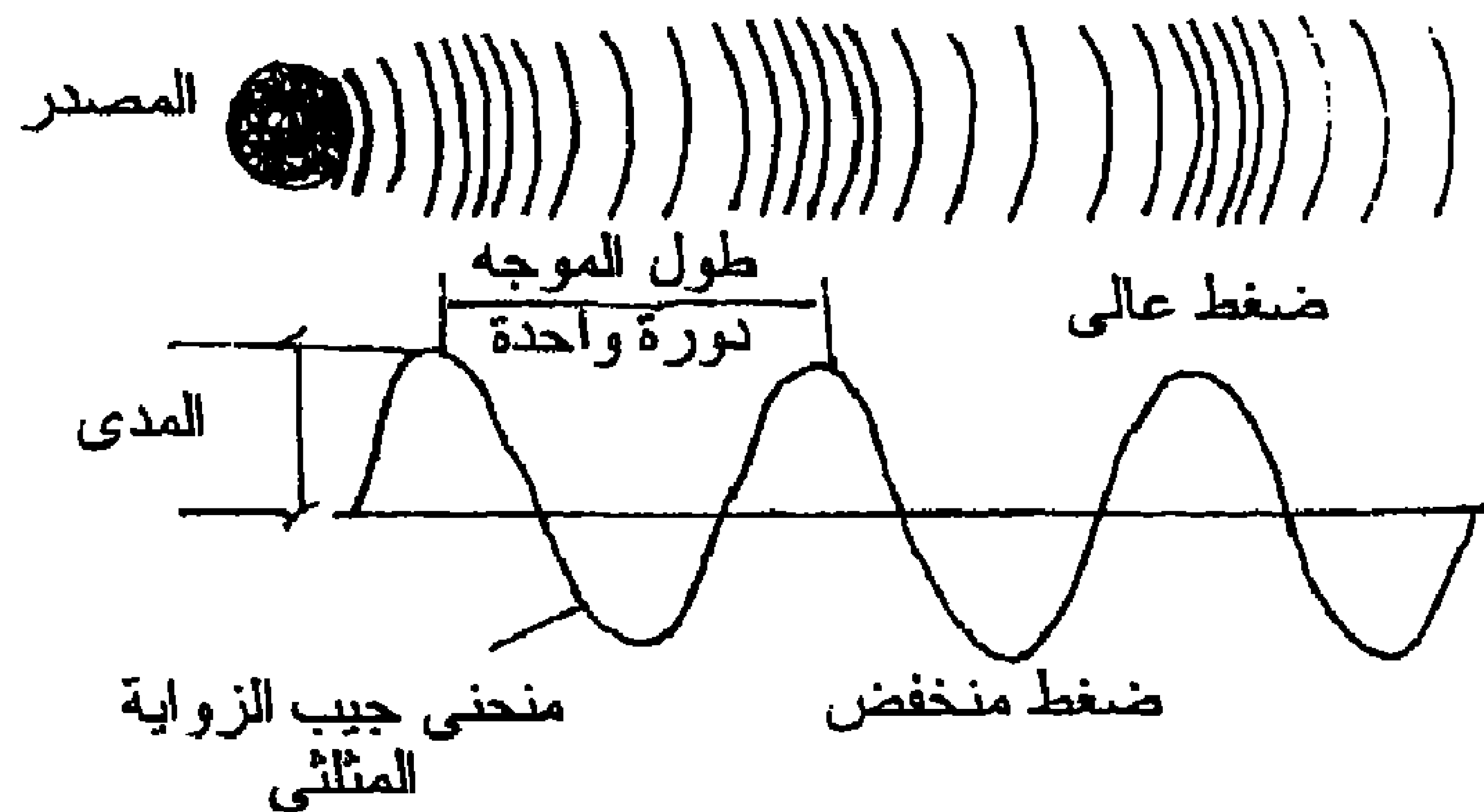
١- أساسيات فيزياء الصوت : Basic Physics of sound

طاقة الصوت تنتج من الاهتزازات الميكانيكية لمصدر الصوت. الذبـذبات تنتقـل أو تحمل بعيداً عن المصدر فى شكل موجات صوتية. الموجات الصوتية يمكن أن تنتقل خلال

المواد الصلبة، السائلة، الغازية، ولكن لا يمكنها الانتقال فى الفراغ (Vacuum)، حيث لا توجد مادة أو مجال لنقل الذبذبات.

فى الهواء، يمكن رؤية الموجات الصوتية كسلسلة من النبضات الرقيقة السريعة أو النبضات لضغط الهواء (أو كثافة الهواء)، أعلى قليلا أو أقل قليلاً من الضغط الجوى العادى. وهذا موضح فى الشكل (٧/١) نبضات الضغط تصطدم بالأذن منتجة ما يستقبله المخ كصوت.

الجزيئات فى المناطق عالية الكثافة تكون متقاربة تقريبا، الجزيئات فى المناطق المنخفضة الكثافة تكون منتشرة بعيدة عن بعضها. المناطق ذات الضغط العالى والضغط المنخفض للهواء يمكن تمثيلها تخطيطيا كالارتفاعات والوديان لمنحنى جيب الزاوية المثلثى (Trigonometric Sine Curve). وهذا يشبه الموجة التى تسير على طول خيط الذى يتحرك إلى أعلى وإلى أسفل، ولكن هذا هو مجرد مخطط توضيحى. جزيئات الهواء الحاملة للموجات الصوتية هى فى الواقع تذبذب أو إزاحة سريعة إلى الخلف وإلى الأمام فى اتجاه الموجة، فهى لا تتحرك أو تسير على طول منحنى جيب الزاوية.



شكل (٧/١) مناطق الضغط المرتفع والمنخفض التبادلية فى الموجة الصوتية يمكن تمثيلها بمنحنى جيب الزاوية المثلثى. القمم تمثل مناطق الضغط المرتفع، والمنخفضات تمثل مناطق الضغط المنخفض. أعلى وأسفل متوسط الضغط الجوى.

خواص الموجة الصوتية : Sound Wave Characteristics

المسافة بين ذرا (Peaks) الضغط (أو المنخفضات) تسمى طول الموجة. مع انتقال الصوت، تبدو الموجة كأنها تتحرك بعيدا عن مصدر الذبذبة. عدد أطوال الموجات التى يبدو أنها تعبر نقطة محددة فى ثانية واحدة يسمى تردد (Frequency) الموجة ارتفاع الذرا

(Peaks) يسمى اتساع أو نطاق الموجة (Amplitude of the Wave)، يمثل كثافة الضغط ولها علاقة بحجم أو الارتفاع لاستقبال الصوت.

طول الموجة الواحدة يسمى دورة (Cycle). يمكن التعبير عن التردد بوحدات التردد فى الثانية (Cycles Per second)، ولكن المصطلح هيرتز (Hertz) أو (HZ) هو المستخدم عادة حاليا. هيرتز واحد يكافئ دورة واحدة فى الثانية (1 HZ = 1CPS_). الموجة الصوتية ذات التردد ١٠٠٠ هيرتز مثلاً، هى تلك التى فيها تمر موجات الضغط لنقطة معينة بمعدل ١٠٠٠ دورة فى الثانية. طريقة أخرى لرؤية تردد الموجة الصوتية هى باعتبارها كعدد المرات التى يصل فيها ضغط الهواء القيمة القصوى (الذروة) [أو ما يسمى بنطاق الموجة] فى ثانية واحدة عند أى نقطة معينة فى الهواء. إذا كان ضغط الصوت (أعلى أو أقل من الضغط الجوى) عند أى نقطة معينة ويتم ترقيقه على مخطط كدلالة للوقت، فإنه يتكون منحنى جيب الزاوية.

لا يتم الخلط بين التردد (Frequency) مع سرعة الصوت (Speed of Sound)، والتى هى ثابتة فى مجال انتقال معين. فمثلاً، موجة الصوت تسير بسرعة حوالى ١٥٠٠ متراً فى الثانية فى الماء وحوالى ٥٠٠٠ متر فى الثانية فى الصلب، فى الهواء عند الضغط العادى ودرجة الحرارة العادية يسير الصوت بسرعة ثابتة حوالى ٣٤٠ متر فى الثانية.

إذا أمكن رؤية وهج ضوئى، كمثال، ثم بعد مرور الثلاث ثوان أمكن سماع الرعد، فإنه يمكن القول أن الوهج الضوئى حدث (٣ ثانية × ٣٤٠ متر فى الثانية = ١٠٢٠ متر أو حوالى واحد كيلو متر بعيد عن مكان القائم بالملاحظة.

توجد علاقة هامة بين الخواص الرئيسية الثالث لموجة الصوت. طول الموجة، التردد، السرعة. سرعة الموجة تساوى حاصل ضرب طول الموجة فى التردد. وهذا يعبر عنه ببساطة كالآتى :

$$v = \lambda \times F$$

حيث :

v= سرعة الصوت متر فى الثانية أو قدم فى الثانية.

λ = طول الموجة بالمتر أو القدم للدورة.

F = التردد، هيرتز أو دورة فى الثانية.

النظام البعدى لهذه المعادلة يمكن استنتاجها كالآتى :

$$\frac{\text{أمتار}}{\text{صوت}} = \frac{\text{أمتار}}{\text{دورة}} \times \frac{\text{أمتار}}{\text{ثانية}}$$

حيث أن سرعة الصوت ثابتة، فإنه توجد علاقة عكسية بين التردد وطول الموجة. بمعنى آخر، كلما زاد التردد كلما قصر طول الموجة والعكس صحيح.

مثال :

موجات صوتية فى الهواء عند ٢١°م تسير بسرعة ٣٤٤ متر فى الثانية. كم من الوقت المستغرق لسماع الانفجار من مصدر الوهج الذى حدث على مسافة ٥ كيلو متر من الشخص الملاحظ.

الحل :

من الفيزياء، فإنه من المعلوم أن المسافة تساوى حاصل ضرب السرعة فى الزمن. بالتعبير عن ذلك جبريا بعد تحويل الكيلو مترات إلى أمتار.

٥٠٠٠ متر = ٣٤٤ متر/ الثانية × الزمن

$$\therefore \text{الزمن} = \frac{\text{٥٠٠٠ متر}}{\text{٣٤٤ متر فى الثانية}} = \text{١٥ ثانية تقريبا.}$$

مثال :

ما هو طول الموجة للصوت الذى يسير فى قضبان الصلب لقاطرة إذا كان تردد الصوت الذى يحدثه تحرك القاطرة هو ٥٠٠ هيرتز؟. (افترض أن الصوت يسير بسرعة ٥٠٠٠ متر فى الثانية فى الصلب).

الحل :

باستخدام المعادلة $\lambda = v \div F$

∴ طول الموجة = ٥٠٠٠ ÷ ٥٠٠ = ١٠ متر

ارتفاع الصوت ودرجة أو طبقة الصوت : Loudness and Pitch

يوجد مصطلحان لوصف استقبال الإنسان للصوت وهما ارتفاع الصوت ودرجة الصوت. ارتفاع الصوت له علاقة باتساع أو نطاق الموجة (Amplitude) وكذلك بعوامل

أخرى، وسيتم مناقشتة في البند التالي. الدرجة أو طبقة الصوت هو دلالة لتردد الموجة المنتجة للصوت. الصوت ذو الدرجة العالية (مثال، الصراخ أو الصياح من الحنجرة أو من صفارة) له تردد عالى نسبياً مقارنة بالصوت ذو الدرجة (الطبقة) المنخفضة (مثل : بوق الضباب Fog Horn)، والذى له تردد منخفض. (كذلك فإن الصوت ذو الدرجة أو الطبقة العالية يجب أن يكون له طول موجة أقصر عن الصوت بالطبقة المنخفضة).

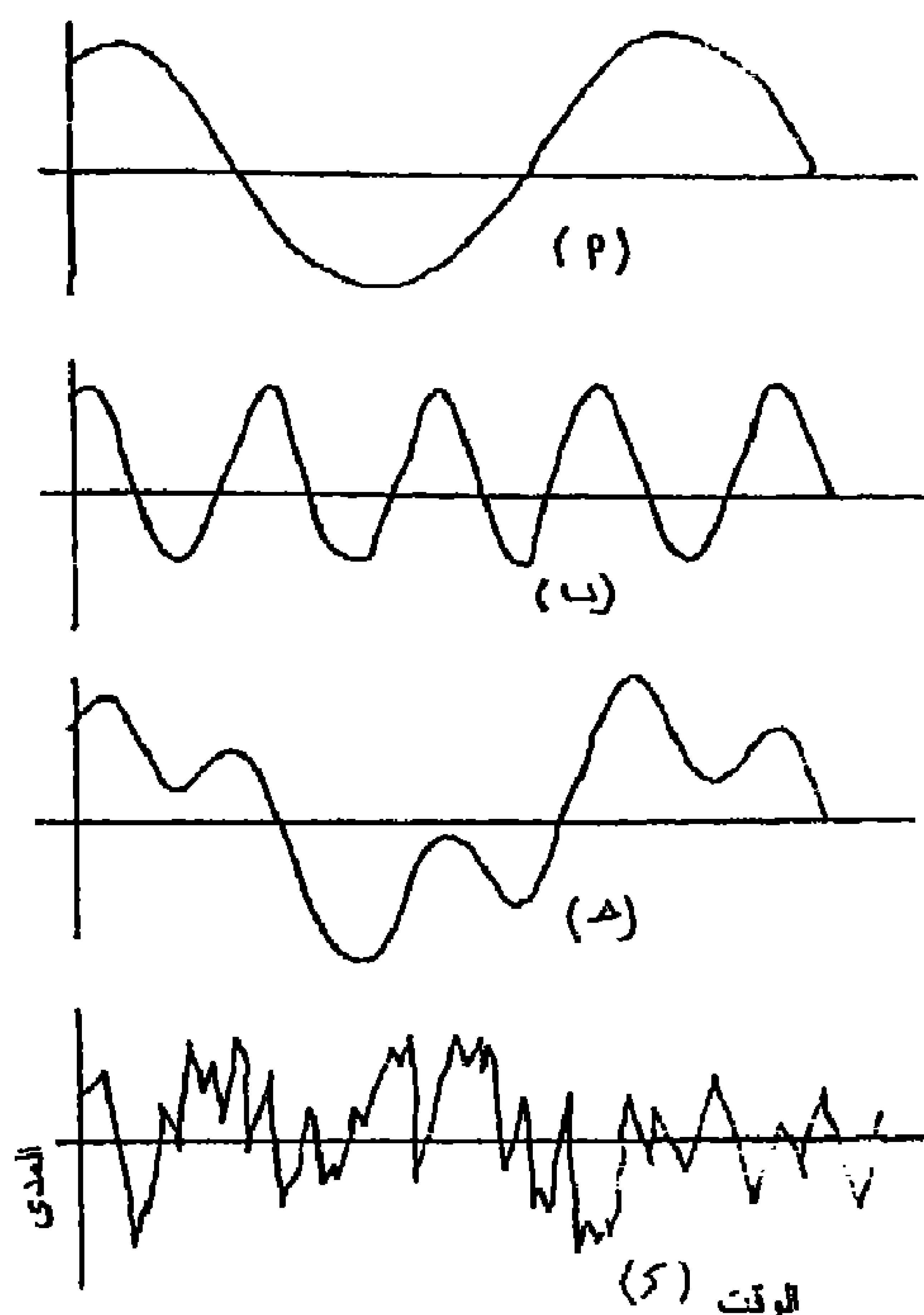
الموجات الصوتية تسبب اهتزاز لطبلة الأذن، وهذه تنشط الأعضاء المتوسطة والداخلية للأذن ومرسلة إشارات بيوكهربية إلى المخ. الأذن البشرية يمكن أن تستشعر وتكتشف الأصوات فى مجال تردد ما بين ٢٠ إلى ٢٠٠٠٠ هيرتز، ولكن بالنسبة للقدرة السمعية لمعظم الناس يكون الأفضل المجال من ٢٠٠ إلى ٢٠٠٠٠ هيرتز. الصوت بتردد ٥٠ هيرتز مثلاً، يستقبل ليكون ذو درجة منخفضة جداً، والصوت بتردد ١٥٠٠٠ هيرتز يكون ذو طبقة، أو درجة عالية جداً.

النوتة المتوسطة (C) على البيانو لها تردد ٢٦٢ هيرتز. فى المحادثات العادية، يغطى الصوت الأدمى المجال من ٢٥٠ إلى ٢٠٠٠ هيرتز. القدرة على سماع الصوت تتوقف على كلاً من تردد الموجة ونطاق الموجة (Amplitude) مع تقدم السن فإن القدرة على السمع تكون عادة أقل حدة. هذا الفقد الطبيعى فى القدرة على السمع تسمى الضعف الشيخوخى للسمع (Presbycusis)، وليس له علاقة للتعرض بالتلوث السمعى.

منحنيات جيب الزاوية أو الموجات الصوتية الموضحة فى الشكل (٧/٢ أ) ، (٧/٢ ب) هى نبرات أو نغمات نقية (pure tones). الصوت وخاصة المزعج (Noise) يكون أكثر تعقيداً عن النبرة النقية، فهو يحتوى على مجموع العديد من موجات الضغط، كل لها تردد مختلف ونطاق مختلف. الموجة الصوتية المتكونة من مثل هذا المجموع لا تمثل الإطار البسيط لمنحنى جيب الزاوية. نبرتان أو نغمتان نقيتان مثل تلك الموضحتان فى الشكل (٧/٢ أ) ، (٧/٢ ب) يمكن أن يتحدا ليكونا موجة مثل تلك الموضحة فى الشكل (٧/٢ – جـ). الإطار العشوائى لكثافة الضغط هو التقليدى لمعظم الأصوات أو الضجيج الغير مرغوب كما هو موضح فى الشكل (٧/٢ د). ضغط الدالة الدورانية (Cyclic Function) مثل الموجة الصوتية، يتميز بالمصطلح الرياضى المسمى الجذر التربيعى لمتوسط القيم المربعة (Rms - Rootmean Square value) وهذه تساوى الجذر التربيعى لمتوسط القيم المربعة لترددات وتقلبات ضغط الصوت. فى الدراسة التالية بخصوص قياس الضجيج (Noise)، الإشارة إلى ضغط الصوت تعنى قيمة الجذر التربيعى لمتوسط القيم المربعة (Rms).

٢- قياس الصوت العالى : (Measurement of Noise)

الموجات الصوتية تتصف بالتغيرات الدورانية لضغط الهواء فوق وأسفل متوسط الضغط الجوى. مقارنة بمتوسط الضغط الجوى والضغط البارومترى، فإن التغيرات فى ضغط الصوت تكون صغير جداً. متوسط الضغط الجوى عند مستوى سطح البحر هو حوالى ١٠٠ كيلو بار (١٤,٧ رطل على البوصة المربعة)، يمكن كذلك التعبير عنه بواحد بار. ضغط الصوت صغيرة جداً حيث يكون من المناسب التعبير عنه بالميكروبار. الميكروبار هو واحد على مليون من متوسط الضغط الجوى عند مستوى سطح البحر. واحد ميكرو بار يكافئ حوالى ١ × ١٠^-٦ بار (٠,٠٠٠٠١٤٧ رطل/ البوصة المربعة).



شكل (٧/٢) النغمات النقية (أ) ، (ب) يمكن أن تتحد لتكون شكل للموجة مثل (جـ) ويمكن تصور الصوت العشوائى فى (د)

أذن الإنسان هى عضو له حساسية ملحوظة. الشخص متوسط القدرة السمعية يمكنه اكتشاف الصوت ذو نطاق صغير جداً مثل ٠,٠٠٠٢ ميكروبار. هذه القيمة هى بالمصطلح تؤخذ لتكون أدنىصوت مسموع للإنسان وتستخدم كقاعدة لمستوى القياس فى معظم قياسات الأصوات. حد السمع هذا يمكن كذلك أن يعبر عنه بالمصطلحات

ميكروباسكال (Micropascals (MPA) حيث ٠,٠٠٠٢ ميكروبار = ٢٠ ميكروباسكال (0.0002 Mbar = 20Mpa) أعلى ضغط صوتي يمكن استقباله بواسطة أذن الإنسان بدون حدوث ألم هو حوالى ١٠٠٠ ميكروبار. مجال الضغط، من ٠,٠٠٠٢ ميكروبار حتى ١٠٠٠ميكروبار، يغطى طيف متسع جداً، فهو يعادل لمجال ٥ مليون إلي واحد (حيث أن ١٠٠٠ ÷ ٠,٠٠٠٢ = ٥,٠٠٠,٠٠٠). الأذن البشرية يمكن أن تستقبل ضغوط الصوت المرتفعة حتى ١٠,٠٠٠ ميكروبار (أو واحد كيلو بار) وذلك قبل حدوث تلف فورى طبيعي لطبلة الأذن أو الأذن الوسطى.

مقياس التفاوت بين شدتى صوتين : (The Decibel Scale)

قياس مستويات الصوت بوحدات الضغط التى يمكن أن تتغير خلال مجال متسع من القيم هو قياس غير عملي وغير مناسب.

السلبية الأخرى لقياس الصوت بوحدات الميكروبار أو الميكروباسكال هى حقيقة أن استجابة الأذن ليست على استقامة واحدة بالنسبة للضغط. هذا يعنى أن استقبال الإنسان للأصوات المزعجة أو الصخب (Loudness) هو ليس ببساطة دلالة مباشرة لضغط الصوت. فمثلاً، مضاعفة مستويات ضغط الصوت ليست بالضرورة تسمع أو تستقبل مثل مضاعفة الصوت المرتفع والصخب. عوامل أخرى مثل التردد تساهم فى الظاهرة، كما ستناقش باختصار.

لتجنب سلبيات الاستخدام المباشر للضغط لقياس النغم أو الصخب (Sound or Voice)، فإنه تستخدم علاقة لوغاريتمية تسمى مقياس التفاوت بين شدتى صوتين. وحدات القياس تسمى ديسيبيل (Decibels) ولا تمثل نوعيات طبيعية حقيقية، مثل الضغط. الديسيبيل هو أساساً نسبة لضغطين، تستخدم اللوغاريتمات لتحول مجال هذه النسبة إلى أعداد مناسبة ومحكمة. قيمة الحجم أو الصوت المقدرة بالديسيبيل تسمى مستوى ضغط الصوت (Sound Pressure Level) (SPL). مستوى ضغط الصوت يعبر عنه رياضياً بالآتى :

$$\text{مستوى ضغط الصوت (SPL)} = ٢٠ \times \text{لوغاريتم} \frac{P}{P_o}$$

حيث P = قيمة الجذر التربيعى لمتوسط مربع تغيرات ضغط الصوت أو (rms) ضغط الصوت، ميكروبار

P_o = الضغط القياسى ميكروبار (µbar)

الضغط القياسي المستخدم عادة لـ P_o هو بداية السمع (Hearing Threshold) أو أدنى ضغط للصوت المسموع لـ ٠,٠٠٠٢ ميكروبار. أساس اللوغاريتم لدالة اللوغاريتم هو ١٠، للتذكرة أن اللوغاريتمات هى أساسا لأس أو القوة لـ ١٠. فمثلاً، لو ١٠٠ = لو ١٠^٢ = ٢ لو (١٠٠٠) = ٣ وهكذا. كذلك حيث أن ١٠^٠ تعرف رياضياً بأنها تعادل واحد، لو (١) = لو (١٠^٠) = صفر.

بناء على التعريف السابق لمستوى ضغط الصوت فإن مستوى ضغط الصوت (SPL) ذو قيمة ديسيبيل = صفر dB = صفر لا يمثل الغياب الكامل للصوت. فهو يمثل بداية السمع أو أدنى صوت مسموع لمعظم الناس. يمكن رؤية هذا بتطبيق المعادلة (مستوى ضغط الصوت = ٢٠ × لو $\left(\frac{P}{P_o}\right)$ باستخدام ٠,٠٠٠٢ ميكروبار لكل من P_o ، P :

مستوى ضغط الصوت = ٢٠ × لو ٠,٠٠٠٢ ÷ ٠,٠٠٠٢ = ٢٠ لو (١)

= ٢٠ × صفر = صفر

فى الواقع، بعض الناس ذات قوة حادة خاصة فى السمع يمكنها أن تكتشف الأصوات ذات قيمة ضغط الصوت بالديسيبيل ذو قيمة سالبة.

مثال :

سارينة عربة إسعاف سببت ضغط صوت ٢٠٠ ميكروبار. ما هو مستوى ضغط الصوت للسارينة؟

الحل :

باستخدام المعادلة لضغط الصوت فإنه يساوى

= ٢٠ × لو (٢٠٠ ÷ ٠,٠٠٠٢) = ٢٠ × لو (١٠^٦)

= ٢٠ × ٦ = ١٢٠ ديسيبيل.

بداية الألم للإنسان، حوالى ١٠٠ ميكروبار، يعادل حوالى ١٣٤ ديسيبيل (راجع الحساب باستخدام معادلة حساب ضغط الصوت) يمكن ملاحظة أن مقياس الديسبيل يساعد فى خفض قياسات انتشار أو مجال الصوت إلى مجال مقبول نسبياً لـ صفر ديسبيل إلى حوالى ١٤٠ ديسيبيل. لوضع مقياس الديسيبيل فى منظور بالنسبة لإدراك الناس لارتفاع

الأصوات العادية ومستويات الضجيج، فإن بيان لقيم ديسيبيل النموذجية موضح فى الشكل (٧/٣)

شكل (٧/٣) يستخدم تدريج ديسيبيل لقياس مستويات الصوت

مستوى الصوت بالديسيبيل	الحالات البيئية
-١٤٠	
-١٣٠	بداية الألم
-١٢٠	ثرثرة هوائية
-١١٠	البوق العالى للسيارة (مسافة ١ متر)
-١٠٠	طائرة نفاثة فوق الرأس
-٩٠	داخل قطار نفقى
-٨٠	داخل الأوتوبيس
-٧٠	متوسط الحركة المرورية على جانب الشارع
-٦٠	كلام المحادثة والتخاطب
-٥٠	نموذج لمكتب عمل
-٤٠	غرفة معيشة.
-٣٠	المكتبة
-٢٠	غرفة النوم ليلاً
-١٠	أستوديو الإذاعة
صفر-	بداية السمع

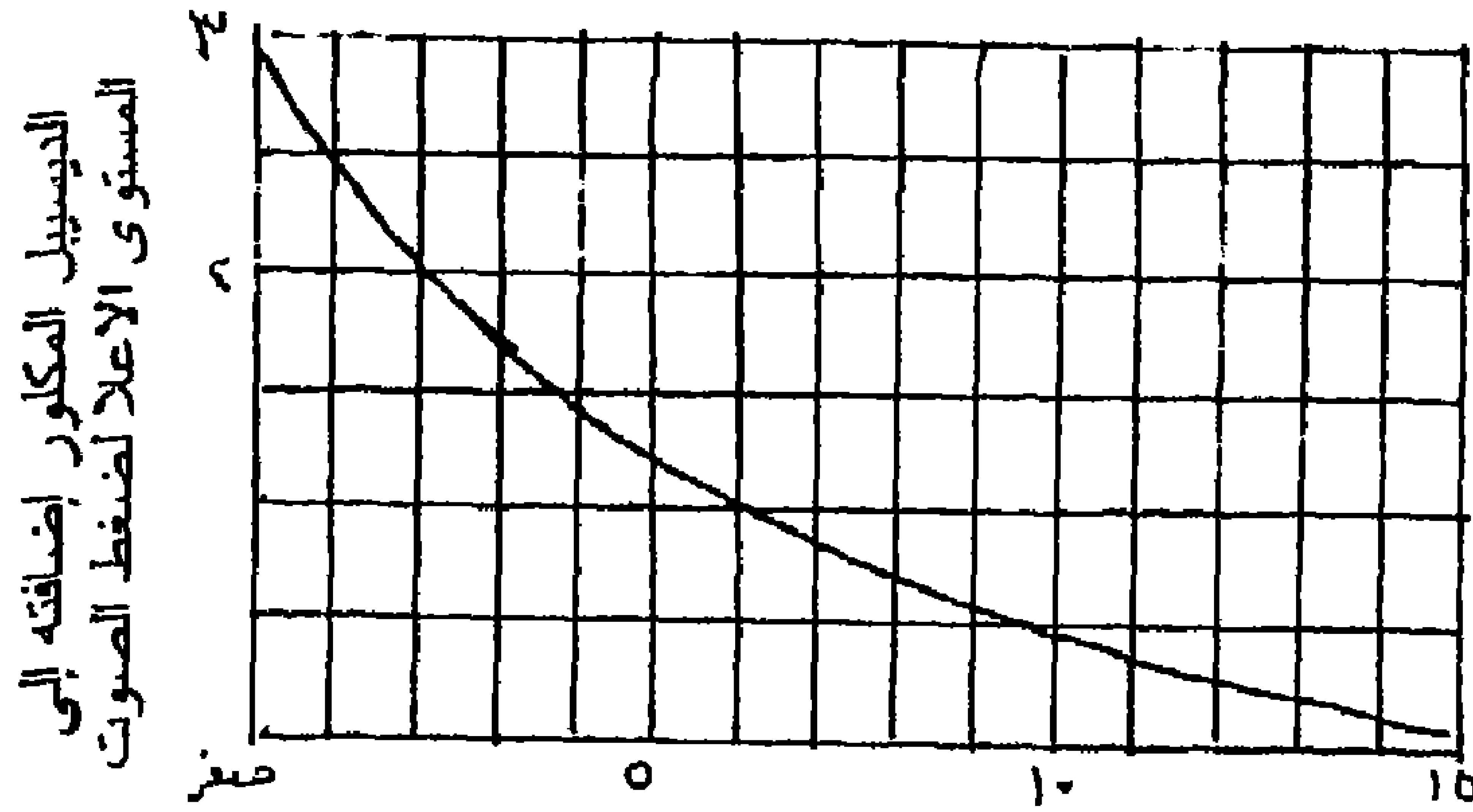
الأصوات المشتركة : Combined Noises

فى كثير من الحالات، يكون من الضرورى التنبؤ ماذا سيكون مستوى الأصوات المشتركة عندما يعمل مصدرين صوت أو أكثر متقاربين فى نفس الوقت. فمثلاً، قد يكون مطلوب تقدير مستوى الصوت المتوقع عند حدود موقع الإنشاء بسبب العمل المشترك

لمعدات الإنشاء من الأوناش والبلدوزرات، اللوادر..الخ. أولا، من المهم التأكد من أنه ليس صحيحا جمع الديسيبيل (Decibels) لكل صوت من مصدر مستقل باستخدام الرياضيات. ذلك لأنه بسبب الطبيعة اللوغاريتمية لمقياس الديسيبيل للأغراض العملية، يكون من المناسب معرفة أن إشتراك صوتين بقيمة مستوى ضغط الصوت متساوى لكل منهما ينتج دائماً فى زيادة ٣ ديسيبيل فقط فوق مستوى ضغط الصوت لمصدر صوت واحد فقط. فمثلاً، إذا كان معدة إنشاءات حفر لها مستوى ضغط الصوت ٩٠ ديسيبيل وأن معدتين حفر متشابهتين يعملان فى وقت واحد واحدة مع الأخرى، فإن الصوت الناتج أو مستوى ضغط الصوت من كليهما سيكون ٩٣ ديسيبيل (وليس ١٨٠ ديسيبيل). وبالمثل، إذا كان صوت سرينة الإسعاف بسبب صوت بقيمة ١٢٠ ديسيبيل عندئذ فإن سرينتين متشابهتين سوف تنتجا ١٢٣ ديسيبيل، مجموع الديسيبيل سيكون فقط ٣ أعلى من الديسيبيل لمصدر واحد.

على الجانب الآخر، عند اشتراك صوتان مختلفان بأكثر من ١٥ ديسيبيل فى مستوى ضغط الصوت، فإن مساهمة الصوت الأضعف لا يتم ملاحظتها حتى للأذن ذات الحساسية العالية أو أجهزة القياس. فمثلاً، إذا كان حفر الصخر يعمل فى توقيت واحد بديسيبيل ٩٥ ومع لودر بديسيبيل ٨٠ فى موقع الإنشاء، فإن مستوى ضغط الصوت المشترك سيتم استقباله وقياسه ليكون ٩٥ ديسيبيل. الصوت الأصغر يتم حجزه وحجبه بالصوت الأعلى. هذه الظاهرة تسمى إخفاء صوت بواسطة الصوت الآخر. معظم الناس لاحظوا هذا فى وقت ما. فمثلاً، الأصوات الصناعية فى أحد المصانع ذات مستوى ٨٠ ديسيبيل يمكنها إخفاء معظم الأصوات البشرية، حيث تكون المحادثة صعبة، إن لم تكن مستحيلة تحت هذه الظروف.

أحياناً قيم الديسيبيل لمصادر الصوت التى تختلف ما بين صفر إلى ١٥ يجب جمعها. لتجنب الرياضيات المعقدة، يكون من المناسب استخدام مخطط مثل الموضح فى الشكل (٧/٤). يتم الدخول للمخطط أولاً بالفرق العددى بين مستوى الصوتين المطلوب إضافته. مع التحرك إلى أعلى المنحنى ثم متقاطعاً نحو المحور الأيسر، فإنه يتم قراءة الرقم المقابل للديسيبيلات المطلوب إضافتها إلى قيمة المستوى الأعلى لضغط الصوت، حيث تتم القراءة من المخطط.



شكل (٧/٤) مخطط مثل هذا يجب أن يستخدم لتبسيط إضافة قيم الديسيبيل عند جمع اثنين أو أكثر من مستويات الصوت. يتم الدخول إلى المخطط على المحور الأفقى. حيث الفرق العددى بين مستويات للصوت اللازم إضافته، والرقم المقابل للديسيبيل اللازم إضافته لأكبر مستويين الصوت، يقرأ على المحور الرأسى

مثال :

توجد أربع معدات حفر متشابهة يعملان فى موقع إنشاء. كل معدة حفر لها مستوى ضغط صوت ٩٠ ديسيبيل عندما تعمل منفردة. ماهو مستوى ضغط الصوت عندما تعمل المعدات الأربع فى نفس الوقت؟. (للتبسيط، تأثير المسافة من مصدر الصوت تم إهماله فى مناقشة مستوى ضغط الصوت.بالنسبة لهذا المثال، يفترض أن تلك المعدات تعمل معاً فى مساحة محصورة).

الحل :

أولا، يتم تقدير ماذا سيحدث عند عمل معدتين فقط. الفرق العددى بين قيم مستوى ضغط الصوت هو ٩٠ – ٩٠ = صفر. عند الدخول إلى المنحنى فى الشكل (٧/٤) مع فرق يساوى صفر اقرأ القيمة المقابلة لـ ٣ ديسيبيل على المحور الرأسى. لذلك المعدتين يعملان فى نفس التوقيت سينتجان مستوى ضغط الصوت ٩٠ + ٣ = ٩٣ ديسيبيل. وهذا متوقع من قانون المناقشة السابق بالنسبة لمجموع قيم مستوى ضغط الصوت المتشابه.

عند عمل معدة الحفر الثالثة، يضاف ٩٠ ديسيبيل إضافية للمستوى السابق ٩٣ ديسيبيل للمعدتين. الفرق بين قيم مستوى ضغط الصوت هو الآن ٩٣ – ٩٠ = ٣ ديسيبيل. بالدخول إلى المخطط مع فرق ٣ديسيبيل، أوجد أنه من الضرورة إضافة

١,٧ديسيبيل إضافية إلى ٩٣ديسيبيل للحصول على مستوى ضغط الصوت المشترك. لذلك ٩٣ + ١,٧ = ٩٤,٧ ديسيبيل من الثلاث معدات يعملون معا فى نفس الوقت. تـذكر أن زيادة مستوى ضغط الصوت دائماً تضاف إلى القيمة الأكبر من بين قيمتى مستوى ضغط الصوت المشتركين.

أخيرا، مع المعدة الرابعة، باشتراك ٩٤,٧ديسيبيل مـع ٩٠ديـسيبيل. الفـرق هـو ٤,٧ديسيبيل والزيادة المطلوبة من المخطط هى ١,٣ديسيبيل . وهذا ينتج عنـه ٩٤,٧ + ١,٣ = ٩٦ديسيبيل تم إنتاجها بواسطة المعدات الأربع. يمكن مراجعة ذلـك باعتبـار أن اشتراك زوجين من المعدات عند ٩٣ ديسيبيل ينتج كذلك ٩٣ + ٣ = ٩٦ديسيبيل.

كثافة أو حدة أو قوة الصوت : Sound Intensity

لقد لوحظ أن كل الأصوات تنتج بواسطة الاهتزازات الميكانيكية لـبعض الأوسـاط الطبيعية وأن الموجات الصوتية ترسل طاقة. المعدل الذي تنتقل به هذه الطاقة خلال وحدة المساحة العمودية على اتجاه موجة الصوت تسمى حدة الصوت وتقيم بوحدات الوات على المتر المربع (W/m2). كثافة أو حدة الصوت تتناسب مع قيمة مربع rms (قيمة الجـذر التربيعى لمتوسط مربع تغيرات ضغط الصوت) لضغط الـصوت أو مـستوى ضـغط الصوت (SPL).

بالنسبة لكل زيادة ١٠ديسيبيل فى مستوى ضغط الصوت، فإنـه توجـد زيـادة ١٠ أضعاف فى حدة الصوت. فمثلاً، مستوى ضغط الصوت ١٠ديسيبيل أكثر حـدة عـشرة أضعاف عن مستوى ضغط الصوت لواحد ديسيبيل، ٢٠ديسيبيل يكون أكثر قوة وكثافـة ١٠٠ ضعف، ٣٠ديسيبيل ١٠٠٠ ضعف وهكذا. كذلك لكل مضاعفة لقوة الصوت (مثلاً، مضاعفة عدد مصادر الموجات الصوتية المتساوية)، فإن مستوى ضغط الـصوت (SPL) يزداد بثلاث ديسيبيل (كما هو موضح فى المثال السابق).

فى حالة التردد الوحيد أو النبرة النقية (Pure Tone)، يوجد تطابق وتوافق مباشر بين الارتفاع أو الصخب (Loudness) والحدة أو القوة. ولكن معظم الأصوات تحتوى علـى العديد من الترددات ويتأثر التطابق بتأثيرات التداخل لموجات الصوت. معظم الناس زيادة من ٦ إلى ١٠ ديسيبيل فى مستوى ضغط الصوت ليكـون مكافئـاً لمـضاعفة ارتفـاع الصوت. من المهم معرفة أن هناك فرق بين الوصف العلمى وقياسات الصوت وبـدائل التعرض عنها بواسطة أى فرد من الناس.

قياسات مستوى الصوت :

الأذن البشرية تستجيب للأصوات بطريقة معقدة. لا توجد علاقة بسيطة بين القياس الطبيعي لمستويات ضغط الصوت والإدراك الحسي للأفراد بالنسبة لارتفاعات الأصوات. إلى حد معين إدراك الارتفاع النسبي للصوت هو ذاتى (Subjective) ويتوقف على رأى الأفراد. ولكن صفة واحدة من خواص الصوت (بخلاف اتساع نطاق الموجة Amplitude) تعرف بأن لها تأثير مباشر على إدراك الأصوات وهى تعيين درجة النغم أو طبقة الصوت (Pitch)، أو تردد الموجة الصوتية.

لقد أظهرت التجارب أن الشخص المتوسط بالقدرة السمعية العادية سوف يدرك صوتاً بتردد عالى ليكون أعلى من الصوت بتردد منخفض، حتى فى حالة أن كلا الصوتين لهم نفس القوة (Intensity) أو مستوى ضغط الصوت. فمثلاً، صوت بمستوى ضغط الصوت ٧٠ديسيبيل عند تردد ١٠٠٠ هيرتز عادة يتم إدراكه ليكون أعلى من صوت ذو تردد موجة أقل (Low Pitched)، حتى فى حالة كلا الصوتين لهم نفس القوة أو مستوى ضغط الصوت (Intensity or SPL). فمثلاً، صوت بمستوى ضغط الصوت ٧٠ديسيبيل عند تردد ١٠٠٠ هيرتز عادة يتم إدراكه ليكون أعلى من ٧٠ديسيبيل بتردد ١٠٠ هيرتز. فى الواقع،الصوت بتردد ١٠٠ هيرتز يجب أن يكون له مستوى ضغط الصوت (SPL) حوالى ٧٦ dB ديسيبيل له ليمكن الحكم عليه أنه مترفع مثل صوت ١٠٠٠ هيرتز بمستوى ضغط الصوت (SPL) ٧٠ (dB) ديسيبيل. مستوى الضغط الأعلى (أى طاقة أكثر) مطلوب عند التردد المنخفض للشخص المتوسط لإدراك نفس ارتفاع الصوت لأن الأذن البشرية غير ذات كفاءة إلى حد ما فى كشف الأصوات ذات التردد المنخفض (Low Pitched Sounds).

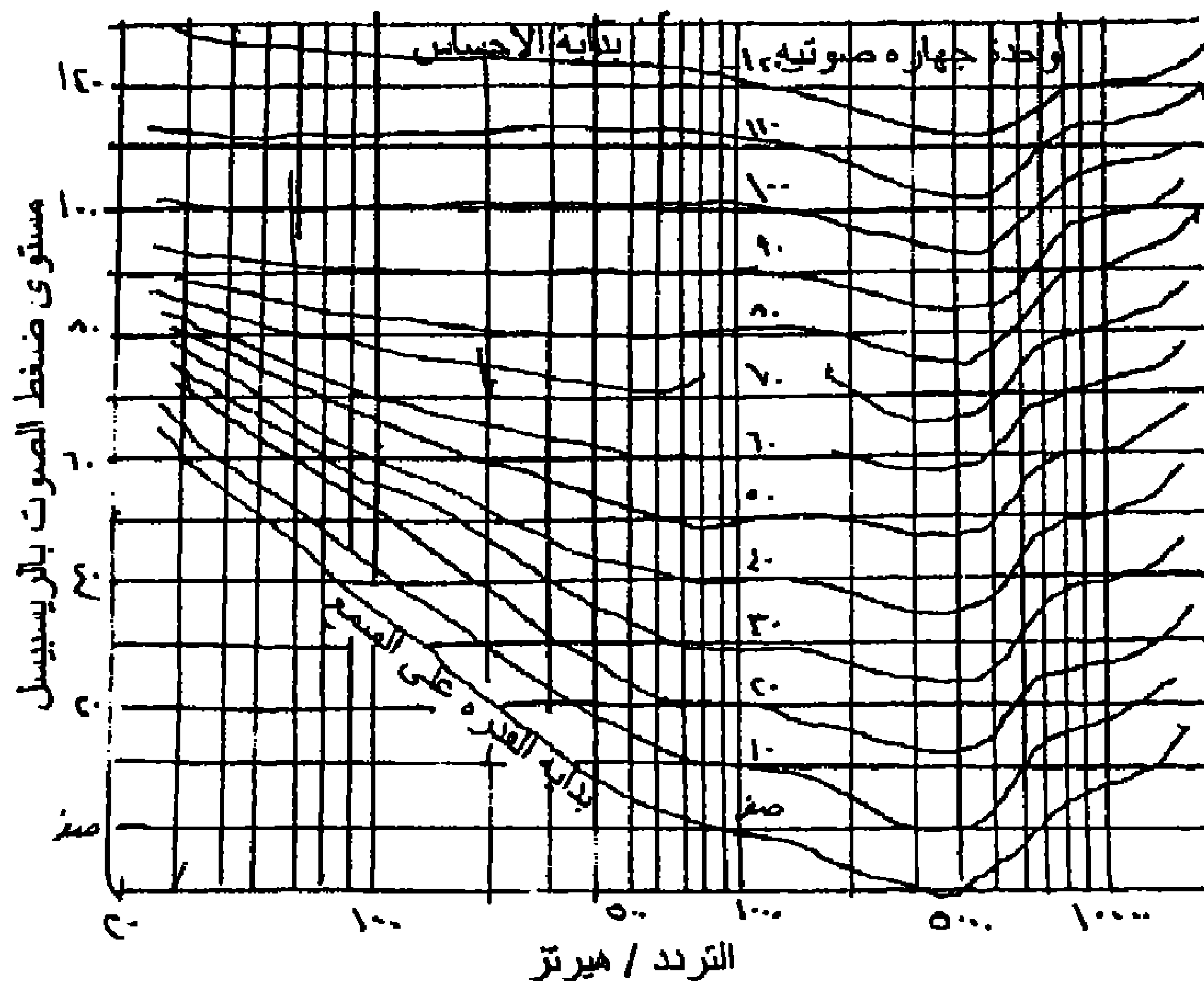
نظرا لأن الأصوات ذات نفس قدرة مستوى ضغط الصوت ولكن بترددات متغيرة لا يتم إدراكها فإنها ذات ارتفاع صوتى أو حجم صوتى متساوى، فإنه تلزم طريقة التى تسمح بقياسات مستوى الصوت أو الضجيج بطريقة ذات معنى وثابتة. أحد الطرق لتنفيذ ذلك هى باستخدام مخطط يوضح الكنتورات ذات ارتفاعات الأصوات المتساوية، كما هو موضح فى الشكل (٧/٥). منحنيات الكنتور تمثل مستويات الصوت أو ارتفاعه وتسمى فون (Phons) أو وحدة الجهارة الصوتية. عند تردد ١٠٠٠ هيرتز فإن طبقة الصوت القياسية (Pitch) مستويات ضغط الصوت تكون نفسها مثل مستويات الصوت، كلاهما يعبر عنه بالوحدات ديسيبيل (Decibels).

مثلاً، مستمع بالسمع العادى حيث يسمع نبرة صوت (Tone) ذات ١٠٠ هيرتز وذات مستوى ضغط الصوت ٧٠ديسيبيل. ما هو ارتفاع الصوت الذى يدركه المستمع.

الحل:

ادخل إلى المخطط عند المحور السفلى ١٠٠ هيرتز وتتبع الخط الرأسى إلى أعلى حتى النقطة بقيمة ٧٠ديسيبيل لمستوى ضغط الصوت، أقرب منحنى كنتورى مرقم ٦٠. بمعنى آخر فإن الصوت سيتم تقديره ليكون له ارتفاع ٦٠ درجة النغم أو طبقة الصوت (Phones). باستخدام نفس الكنتور يمكن ملاحظة أن الشخص الذى يسمع مستوى ضغط الصوت ٦٥ديسيبيل عند ٢٠٠ هيرتز سوف يدرك نفس الارتفاع، لطبقة الصوت (٦٠).

تستخدم طرق أخرى كثيرة لقياس الارتفاع الظاهر للصوت. مثلاً، وحدة أخرى لارتفاع الصوت المستخدم هى الصون (Sone) أو وحدة جهارة الصوت. فإن ارتفاع الصوت إلى ٤٠ طبقة صوت (Phones) يقابل واحد صون (وحدة جهارة صوت)، كل مضاعفة للصوت تزيد طبقات الصوت (Phones) بعشرة. فمثلاً، صوت ذو ٢ صون يكافئ ٥٠ فون (طبقة صوت)، ٤ صون يكافئ ٦٠ فون، وهكذا. وحدات أخرى تستخدم كذلك، ولكن النقطة الهامة التى يجب ملاحظتها هى التعقيدات المصاحبة لقياس كلا من مستويات الصوت وتأثيراتها.

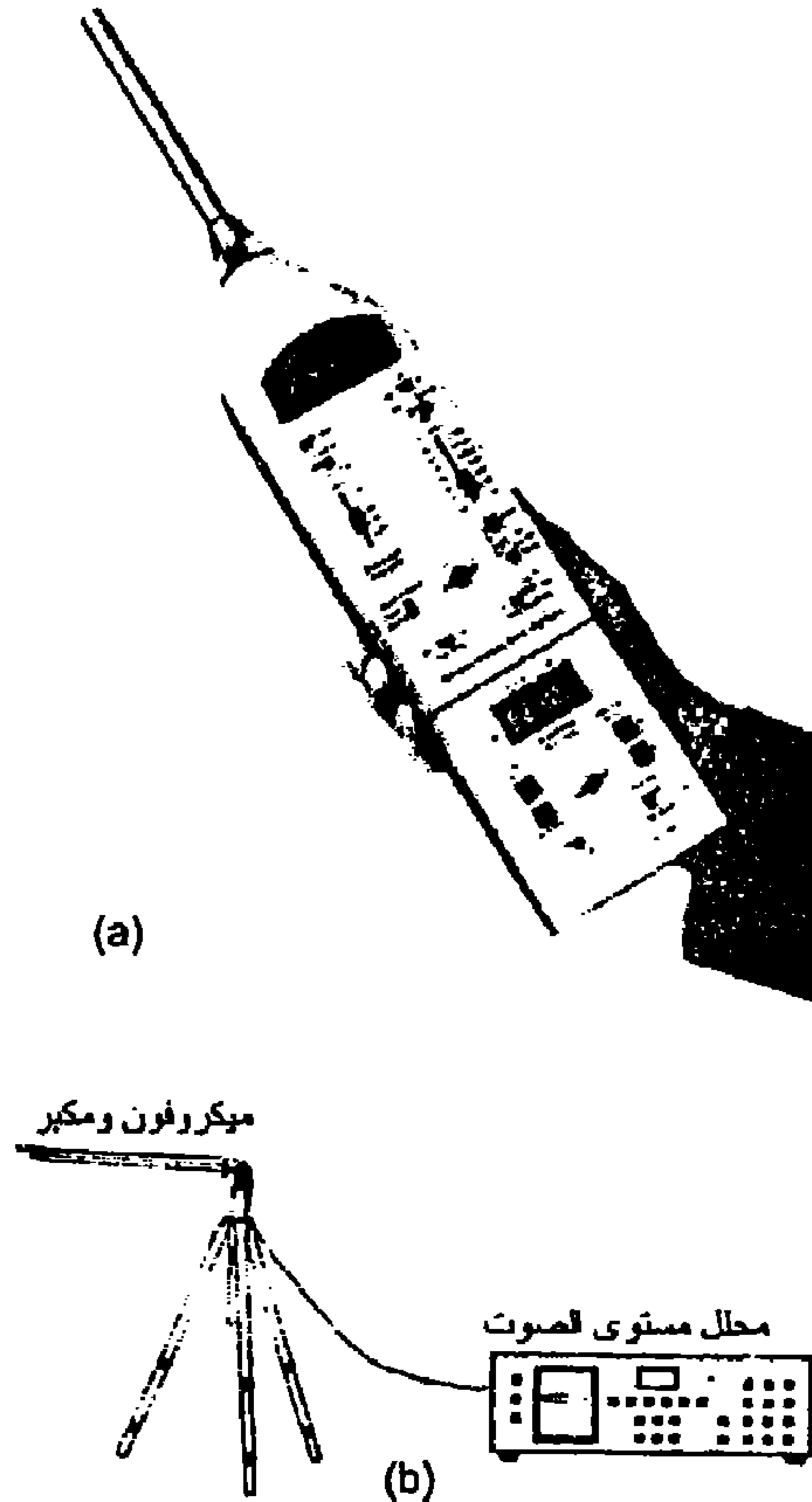


شكل(٧/٥) كنتورات وحدات جهارة الصوت المتساوية (Phones)

قياسات مستوى الصوت : (Sound - Level Meters)

كثيرا من الأجهزة الإليكترونية متاحة لقياس الصوت. المكونات الرئيسية لمقياس الصوت المثالى تشمل الميكروفون، المكبر، مرشح التردد، وتجهيزة القراءة. القياسات أو القراءات تسمى مستويات الصوت ويدخل فى اعتبارها تغير إدراك الصوت أو ارتفاع الصوت مع التردد. بعض أبحاث الصوت يمكن عملها بمقياس مستوى الصوت اليدوى، والذى يعمل بالبطارية. كما هو فى الشكل (٧/٦).

فى الشكل (٧/٦) إذا كانت قياسات الصوت يلزم عملها فى مكان واحد خلال فترة زمنية طويلة، مثل حالة أصوات الحركة المرورية، فإن أجهزة القياس يمكن تركيبها على حامل ثلاثى القوائم مع إضافة تجهيزة وتسجيل ومحلل للتردد. قياسات الصوت عادة تغطى المجال من ٢٠ إلى ١٨٠ديسيبيل. اختيار أجهزة قياس الصوت يتوقف على نوع الصوت، الظروف البيئية، والغرض الرئيسى من القياسات.



شكل (٧/٦) (أ) مقياس الصوت اليدوى (ب) تجهيزة لقياس صوت لحركة مرورية

شبكات تعديل قراءات التردد : (Frequency - Weighting Networks)

عند قياس المستويات الكلية للصوت لأى مصدر، يكون من الضرورة تكسير الصوت إلى مجالات مختلفة من الترددات، أو إلى حزم من الذبذبات أو الأطوال (مثال، حزم تردد منخفض، تردد متوسط، تردد عالى). أحد الأسباب لهذا هو حقيقة أن الحلـــول الهندســـية لكثير من المشاكل الصوتية تختلف باختلاف مجالات التـــردد، الأصـــوات ذات التـــردد المنخفض عادة يكون من الصعب التحكم فيها. بسبب آخر هو أن الأذن البشرية تختلـــف فى الاستجابة لمختلف الترددات. فهى ليست شديدة الحساسية للصوت بالتردد المنخفض، لذلك فإن الأصوات ذات التردد المتوسط والعالى تدرك كما لو كانت زائدة فى المضايقة. وكذلك الأصوات ذات التردد العالى أكثر قدرة على إحداث الفقد فى السمع.

أجهزة قياس مستوى الصوت عادة تكون مزودة بمرشحات التردد أو شبكات التعديل. المرشح (A) هو المستخدم عادة. قياسات الصوت التى تعمل بهذا المرشح تعـــرف بأنهـــا ذات ثقل تعديل ديسيبيل (A) (A- Weighed - decibels or dBA). شبكة ثقل التعـــديل (A) هذه ترشح الأصوات ذات التردد المنخفض وذات التردد العالى جداً، حيث تكـــون الأذن البشرية أقل كفاءة. وهذا يساعد على تطابق قراءات العداد مع حساسية الأذن وطبقاً لتقدير الشخص المتوسط الإرتفاع النسبى لمختلف الأصوات. مستويين لـــصوتين ذات مـــستوى ديسيبيل واحد ولكن لترددات مختلفة لها مستويات (dBA) مختلفة، الصوت ذو التردد الأقل له مستوى أقل لـــ (dBA).

كذلك يمكن استخدام مرشحات تردد أخرى أو شبكات ثقل التعديل للدراسات الحقليـــة المتخصصة لمستوى الصوت. مثلاً، المرشح بالثقل C يمكن أن يكون مفـــضلاً لتحليـــل مصادر الصوت ذات المكونات الكثيرة منخفضة التردد مثل صوت الانفجـــار أو نيـــران المدفعية. مرشح ثقل التعديل (A) يعامل كأفضل قياس للصوت البيئى أو صوت المجتمع، فهو عادة مطلوب بواسطة وكالة حماية البيئة (EPA) وكثير من الجهـــات ذات الاهتمـــام بالبيئة.

المستويات التراكمية للصوت : (Cumulative Noise Levels)

مستويات الصوت غالباً ما تتغير دائماً مع الوقت، ونتائج القياس الكلية يجب أن تقرر فى مصطلحات إحصائية. تستخدم عدة طرق ومعايير لتمثل توقيت متوسط القيم للفرد أو حوادث الصوت القصيرة، وكذلك التعرض الكلى للصوت من حالات صوتية كثيرة. أحد التقنيات هو لتعيين نسبة الوقت الذى يزيد فيه مستوى الصوت. فمثلاً، بعد عدة قياســـات

لمستوى الصوت يمكن تقريب أن L go = 75 dBA، وهذا يعنى أنه أثناء الفترة الزمنية التى لخذت فيها القراءات، فإن مستويات الصوت كانت تساوى أو أعلى من 75dBA ٩٠% من الوقت. بعض معايير الصوت الأخرى التى سيتم مناقشتها تشمل

مستوى تعرض الصوت (Sound Exposure Level)

مستوى الصوت المكافئ (Equivalent Sound Level)

مستوى الصوت نهاراً – وليلاً (Day - Night Sound Level)

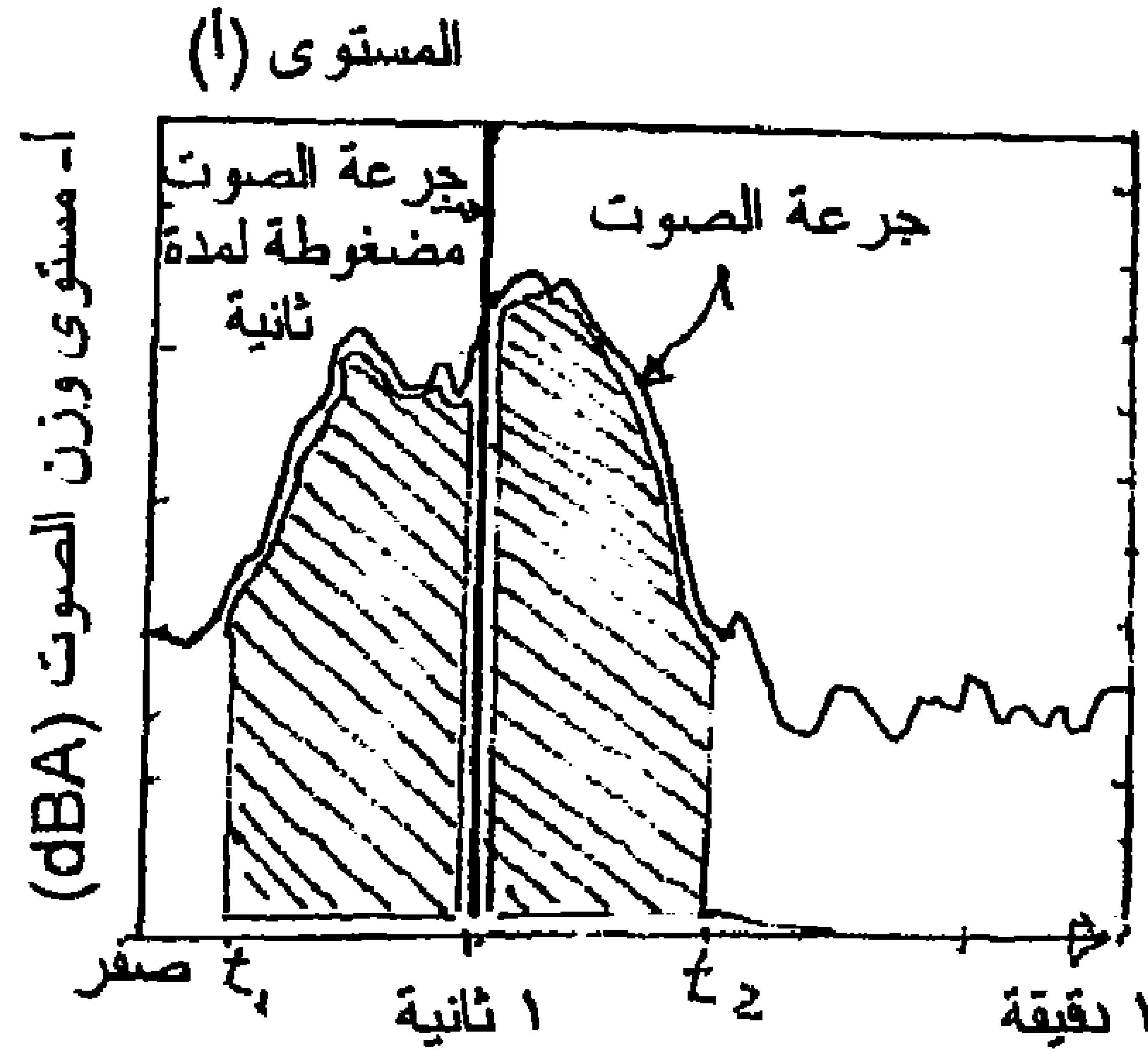
١- مستوى تعرض الصوت :

كثير من مشاكل التلوث الصوتى تشمل سلسلة من حالات الصوت المتقطعة والتى تحدث خلال فترة زمنية، كل حادثة صوتية قد تستمر لفترة زمنية قصيرة، من الثوانى القليلة إلى الدقائق القليلة. فمثلاً، الصوت من طائرة تطير فوق تجمع سكنى دقيقة واحدة تقريباً، بالإضافة فإن كثيراً من الطائرات قد تطير فوق المدينة خلال اليوم. الخطوة الأولى فى تحليل تأثيرات التلوث الصوتى للمجتمع من هذه المصادر هى بحساب مستوى التعرض للصوت لكل حادثة صوت (أو الطيران العلوى فى هذه الحالة). قيم مستوى التعرض للصوت توفر الأساس لحساب حوادث الصوت ذات استمرارية متغيرة بطريقة التى تمكن من مطابقة متوسط تأثير الشخص للصوت.

مستوى تعرض الصوت يعبر عن مكافئ تراكم الطاقة الصوتية خلال فترة الحادثة الصوتية، هذه الفترة تعرف أنها تمتد من وقت عندما تحدث الزيادة الأولى لمستوى تعرض الصوت عن مستوى الصوت العادى حتى الوقت الذى يعود فيه مستوى ضغط الصوت ثانياً لذلك المستوى. وهذا موضح فى الشكل (٧/٧)، الذى يبين تغير مستوى ضغط الصوت خلال دقيقة واحدة. المساحة المهشرة تغطى الفترة الزمنية لحادثة الصوت، حيث قيم مستوى ضغط الصوت (فى هذه الحالة) 60dBA.

فى الشكل (١٣/٧) يلاحظ أن أقصى مستوى ضغط الصوت هو عند 85dBA = 85) L max)، ولكن قيم Lmax لا تمثل بدقة إدراك الشخص المتوسط للصوت، بسبب اختلاف الفترات الزمنية التى تحدث خلال مختلف حوادث الصوت. لحساب هذا، فإن قيم مستويات تعرض الصوت تم توحيدها لتكون لمدة ثانية واحدة. بمعنى آخر إجمالى الطاقة الصوتية الممثلة بالمساحة ذات التهشير الخفيف تم ضغطها إلى الكمية المكافئة للطاقة لمدة زمنية قدرها ثانية واحدة فقط. حيث أن مستوى تعرض الصوت أصبح يعاير بالنسبة لثانية واحدة، فإنه غالباً يكون دائماً أكبر فى القيمة عن (Lmax) لحادثة الصوت الخفيفة. فى هذا

التصور قيمة مستوى تعرض الصوت هي حوالى (95 dBA). أولاً، قد يبدو غريباً لوصف قيمة الحادثة الصوتية باستخدام مستوى ديسيبيل الذى يزيد حقيقة عن أقصى مستوى مقاس. لاحظ رغم ذلك، أن قيم مستوى تعرض الصوت مخصصة للاستخدام في الدراسات المساحية للصوت، حيث يكون من الضرورى مقارنة كثيرا من حوادث الصوت ذات استمرارية متغيرة بالطريقة التى تطابق الإدراكات الآدمية. مهما كانت استمرارية الحادثة الصوتية، كلما ارتفع مستوى التعرض الصوتى، كلما زاد احتمال إحداث الضرر أو المضايقة من هذا الصوت.



شكل (٧/٧) مستويات تعرض الصوت المستخدمة لحساب الفترة الزمنية لحدوث الصوت

مستوى الصوت المكافئ :

مستوى تعرض الصوت يقيس الصوت المصاحب لحوادث فردية مثل طيران فوقى لطائرة واحدة. من المهم القدرة على الوصف للتأثيرات التراكمية لسلسلة من حوادث صوت مماثلة كثيرة. أحد الطرق المستخدمة لعمل هذا هو بتعيين مستوى الصوت المكافئ أو (Leq) Leq. يمكن أن تفهم بأنها كمتوسط أو ثابت مستوى ضغط الصوت خلال الفترة الزمنية المعينة. فهو يحتوى على كثير من طاقة الصوت مثل كل حالات الصوت المصاحبة أثناء هذا الإطار الوقتى. الفترة الزمنية المعينة يمكن أن تكون ساعة واحدة، يوم عمل لمدة ٨ ساعات، يوم كامل لمدة ٢٤ ساعة. من المهم تشخيص الفترة الزمنية المستخدمة لأى دراسة مساحية صوتية، فمثلاً، يوم عمل ٨ ساعات (leq) يتم تشخيصه ليكون [Leq (8)].

متوسط مستوى الصوت الذى يتم بواسطة (Eeq) ليس قيمة حسابية، ولكن قيمة لوغاريتمية أو قيمة متوسط الطاقة. لهذا، القيم العالية لمستوى ضغط الصوت تستقبل تأكيد أكبر عن القيم المنخفضة. فمثلاً، إذا كان مستوى ضغط الصوت ثابت عن (50dBA) لمدة ٣٠ دقيقة ثم يكون ثابتاً عند (100 dBA) لمدة ٣٠ دقيقة التالية، فإن Leq لستين دقيقة سيكون (97dBA)، وليس (75dBA) (كما يتوقع عند استخدام المتوسط الحسابى. الحالات العالية هى التى تسود فى بيئة الصوت الموصف بـ (Leq).

مستوى الصوت نهاراً – وليلاً : (DNL)

مستوى الصوت نهاراً وليلاً هو (24) Leq مع 10-dBA غرامة مضافة لمستويات ضغط الصوت الذى يحدث أثناء الليل (من الساعة ١٠ مساءاً حتى السابعة صباحاً). رمز آخر يستخدم لمستوى الصوت نهاراً – وليلاً (DNL) هو Ldn. الغرامة 10-dBA للأصوات فى وقت الليل تمثل الضبط للمضايقات الإضافية التى سببتها هذه الأصوات. معظم الناس يكونون أكثر حساسية للصوت أثناء الليل، خاصة لأن مستويات الصوت العادية تكون أقل فى هذا الوقت. قيم مستوى الصوت نهاراً – وليلاً يمكن قياسها بمعدة قياسية لقياس الصوت، كما أنه يمكن استنتاجها باستخدام نماذج الكومبيوتر. القيم المثالية لمستوى الصوت نهاراً – ليلاً(DNL) موضح فى الشكل (٧/٨). فهو يتراوح من مستوى ضغط الأصوات ذات الترددات المختلفة (dBA) = ٤٠ فى حالة الهدوء الشديد فى الأماكن الحضرية الملاصقة لمعظم المطارات. فى بعض الدراسات للتلوث الصوتى يتم توضيح قيم مستوى الصوت نهاراً – ليلاً فى المدينة أو جوارها على خريطة فى شكل كنتسورات صوتية ترسم الخطوط ذات التعرض الصوتى المتساوى بنفس الطريقة التى تكون فيها ارتفاع الكنتورات مثل الرسم الطبوغرافى. قياس مستوى الصوت ليلاً– نهاراً له أهمية خاصة لتحليل ووصف تعرض المجتمعات لصوت الطيران، فى أمريكا تم اختيار (Ldn) كأقصى معيار لتقدير صوت الطيران.

مستويات الصوت نهاراً – ليلاً فى الأماكن خارج الأبواب

Ldn
(dBA)

٩٠ ——
— قريباً من معظم المطار
٨٠ ——
— منطقة نشاط استثمارى
٧٠ ——
— منطقة أصوات سكنية صاخبة
٦٠ ——
— منطقة أصوات صاخبة
٥٠ ——
— منطقة ريفية
٤٠ —— الحقول

شكل (٧/٨) المجالات المثالية لمستوى الصوت ليلاً – نهاراً فى الأوساط البيئية

مثال :

مستويات الأصوات العابرة بسبب الحركة المرورية على الطرق السريعة تم قياسها على فترات ١٠ دقائق لمدة ١,٥ ساعة.

تم أخذ تسع قراءات لمستوى الصوت منفصلة (dBA) على التوالى، ٧٢، ٧٦، ٧٩، ٨١، ٨٤، ٧٦، ٧٥، ٧٥، ٧٤. عين مستوى الصوت الذى زاد ٥٠% من الوقت خلال كل فترة القياس الزمنية. كذلك عين قيم L10 , L90.

الحل :

أولاً، أعد تنظيم ودرجة قراءات مستوى الصوت فى شكل تنازلى كما هو موضح فى الصفين الأولين الآتيين :

dBA	٨٤	٨١	٧٩	٧٦	٧٦	٧٥	٧٥	٧٤	٧٢
الدرجة	١	٢	٣	٤	٥	٦	٧	٨	٩
نسبة % لزيادة الوقت	١٠	٢٠	٣٠	٤٠	٥٠	٦٠	٧٠	٨٠	٩٠

النسبة المئوية للزيادة فى الوقت يتم حسابها بسهولة بقسمة رقم الدرجة على رقم القراءات زائد ١+ ثم الضرب فى ١٠٠. فمثلاً، بالنسبة لمستوى الصوت بالدرجة ٣ (dBA 79). [٣ ÷ (٩+)] × ١٠٠ = ٣٠%. بمعنى آخر أثناء الفترة الزمنية التى تم فيها قياسات الصوت، فقد تساوت أو زادت (٧٩- dBA) حوالى ٣٠% من الوقت (L30 = 79 dBA).

من الجدول يمكن ملاحظة أن L50 = 76dBA، والذى هو متوسط القراءات. كذلك يمكن ملاحظة أن (L10 = 84dBA). بمعنى آخر، يمكن افتراض أن ١٠% من الوقت مستويات الصوت تساوى أو زادت (84dBA) (حتى إن لم يكن هناك قياسات لمستوى الصوت أعلى من هذه القيمة).

رغم أن (72dBA) تبدو من البيانات المعطاة، أنها زادت معظم الوقت، فإن الحسابات أظهرت أن المستوى ليكون بقيمة (L90). (هذا مثال مبسط لطريقة إحصائية التى يمكن استخدامها لوصف مستويات الصوت العابرة أو المنقطعة، النتائج تصبح أكثر دقة مع زيادة قراءات عدد مستوى الصوت SL).

٣- تأثيرات الصوت : (Effects of Noise)

الفرق بين الصوت الهادئ (Sound) والصوت المرتفع (Noise) هو عادة شعور ذاتى، أى أنه مرتبط بفكرة الشخص. رغم اختلافات الفكرة، فإن بعض التأثيرات المحددة الضارة تكون بسبب التعرض للمستويات المرتفعة للصوت، سواء كانت تسمى الصوت المرتفع (Noise) أم لا. هذه التأثيرات قد تكون طبيعية أو انفعالية، ويمكن أن تتراوح فى حدتها من مجرد كونها تسبب المضايقة إلى كونها شديدة الخطر وإحداث الألم. المستويات الزائدة من الأصوات العالية (Noise) يمكن أن تسبب مشاكل بيئية وخطورة فى موقع العمل.

التأثيرات المباشرة الأكثر خطورة للأصوات الزائدة هو التلف الطبيعى للأذن والفقد المؤقت أو المستمر للقدرة على السمع نتيجة لهذا التلف. الفقد المؤقت فى السمع عادة يسمى البداية المؤقتة للتحول (Temporary threshold Shift)، وهى تمثل ضعف القدرة على اكتشاف الأصوات الضعيفة، القدرة على السمع عادة يتم استعادتها بعد حوالى شهر واحد من التعرض. الفقد المستمر، عادة يسمى بداية التحول للتأثير المستمر للصوت، وهذا يمثل الفقد فى القدرة على السمع من حيث لا يمكن استعادتها.

عند مستوى الصوت أقل من (80dBA)، لا يحدث فقد في السمع عادة إطلاقا. ولكن يلاحظ تأثيرات مؤقتة عند مستويات المعرضين لمستويات صوت (95dBA) عند العمل يحدث لهم فقد في القدرة على السمع. مستوى الصوت (150dBA) يمكن أن يسبب التدمير لطبلة الأذن.

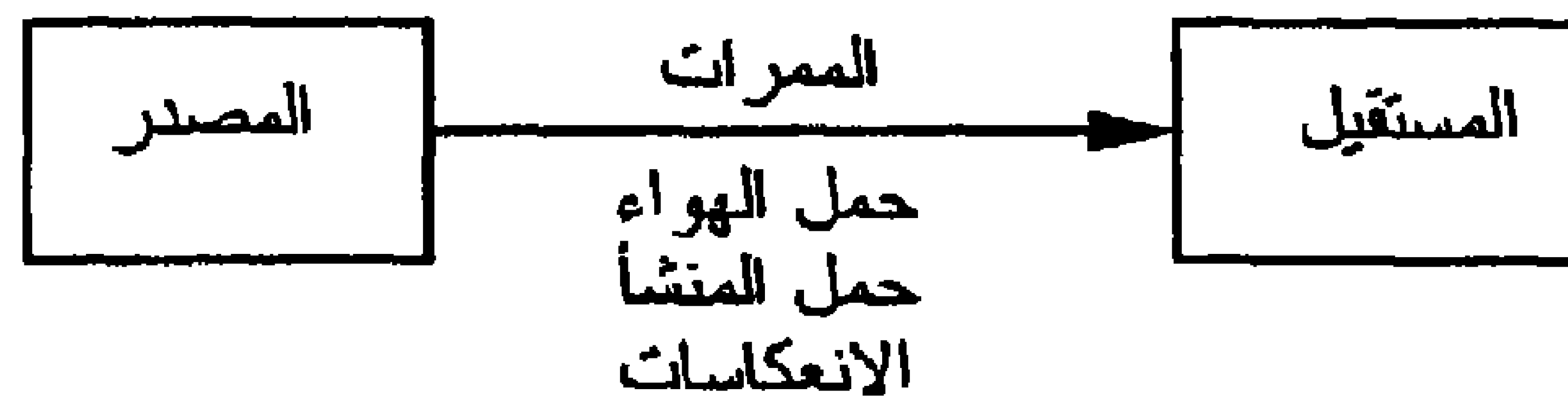
عموما الأصوات ذات التردد المرتفع والتردد المتوسط تكون أكثر ضررا عن الأصوات ذات التردد المنخفض، عند نفس المستوى، ودرجة الفقد في السمع تتوقف على استمرارية وشدة الصوت. فمثلاً، عند التعرض لمدة ساعة واحدة لمستوى الصوت (100 dBA) يمكن أن يسبب انخفاض القدرة على اكتشاف الأصوات الضعيفة والتي يمكن أن تستمر لمدة يوم واحد فقط. ولكن في بعض الحالات وتحديداً في المصانع حيث الماكينات المحدثة للأصوات العالية، فإن العمال يكونون معرضين لمستويات عالية من الصوت لعدة ساعات في اليوم. التعرض لـ (95 dBA) لمدة ٨ ساعات في اليوم ولمدة ١٠ سنوات يمكن أن يسبب حوالي 15dBA من الفقد في السمع.

بالإضافة إلى الفقد في السمع فإن المستويات الزائدة من الصوت يمكن أن تسبب تأثيرات ضارة على نظام الدورة الدموية مسببة ارتفاعاً في ضغط الدم والتغير في معدلات النبض. الأصوات المرتفعة يمكن كذلك أن تسبب تأثيرات فسيولوجية مثل الحساسية، الإجهاد، القلق. حتى أن ضعف التركيز والإجهاد الذهني هو من الآثار الصحيحة الواضحة من الأصوات. في الصناعة، فإنها تسبب انخفاض في كفاءة العامل وكذلك في الإنتاجية، زيادة انقطاع العمال عن العمل، وزيادة معدلات الحوادث. في المجتمع فإنهاتتداخل مع النوم، الترفيه، والمحادثات الشخصية. مستويات الصوت خارج الأبواب حيث (Ldn) أقل من (55 dBA) ومستويات الصوت الداخلية الأقل من (45dBA) تعتبر هي الأفضل لمنع المضايقات وعدم التداخل مع المحادثات أو النوم. مستويات الصوت ليلاً أو نهاراً (DNLs) أكبر من (65 dBA) عادة لا تتوافق مع استخدام أراضي الإسكان أو منشآت الاستخدام العامة مثل المدارس أو المكتبات، حيث يلزم توهين أو ترقيق الصوت فوق هذا المستوى.

عموما، فالصوت العالي يعتبر أكثر منه مجرد إزعاج أو مضايقة. الصوت العالي يمكن أن يكون له تأثير مباشر على الصحة العامة وكذلك على الإحساس بالراحة. يمكن أن لا يكون هناك سؤال عن تأثيرات الصوت على نوعية الحياة. خفض الصوت أو التحكم فيه في المجتمع أو في مكان العمل يعتبر من الاعتبارات الهامة في تكنولوجيا البيئة.

٤- تلطيف وتخفيف الصوت : (Noise Mitigation)

يمكن التحكم فى الصوت المرتفع لتخفيفه أو لخفض شدته، كما يمكن اتخاذ الخطوات لتقليل فترات التعرض له. كل مشاكل الحد من الصوت المرتفع تشمل عناصر أساسية ثلاثة، وهى مصدر الصوت، المسارات المباشرة والغير مباشرة لانتقال الصوت، وواحد أو أكثر من المستقبلين للصوت، أنظر الشكل (٧/٩). مستويات الصوت. وزمن التعرض تكون عموما محدودة بقوانين وضوابط سلوكيات المجتمع.



شكل (٧/٩) العناصر الأساسية فى تحكم الصوت. الهواء يوفر مسار مباشر لنقل الصوت، المواد الصلبة والانعكاسات توفر مسارات غير مباشرة.

الجدول الآتى (٧/١) يلخص العلاقة بين مستوى الصوت واستخدامات الأراضى. قيم L10 تشير إلى مستويات الصوت (SLs) التى لا تزيد عن ١٠% من الوقت.

جدول (٧/١) استخدام الأرضى ومستويات الصوت خارج الأبواب

درجة استخدام الأرضى	وصف استخدام الأرضى	L_{10} مستوى الصوت (dBA)
A	مساحات الأراضى حيث الصفاء والهدوء تشكل احتياجات هامة للمجتمع، مثل المدرجات والأجزاء الخاصة من الأراضى مثل الميادين والمتنزهات العامة.	60
B	المناطق السكنية، الفنادق، المدارس، المكتبات، المستشفيات، وصالات المؤتمرات وأماكن الاستخدامات العامة.	70
C	تنمية الأرض الغير مبين فى (A) أو فى (B)	75

تقنيات التحكم فى الصوت العالى :

توجد أربع طرق أساسية التى يمكن بها التحكم فى الصوت. وهى حماية المستقبل، زيادة طول المسار، أو خفض الصوت من المنبع، إغلاق الممر. عموماً أفضل طريقة للتحكم فى الصوت هى خفض مستويات الصوت عند المنبع. أحياناً يكون من الضرورى استخدام واحدة أو أكثر من التقنيات، ذلك رغم أن طريقة وحيدة يمكن أن تكون مؤثرة.

حماية المستقبل : (Protection of the Recipient)

أحد الطرق لحماية الأفراد من المستويات العالية للصوت هو باستخدام سدادات الأذن. سدادات الأذن ذات التصميم الخاص يمكنها خفض مستوى الصوت الذى يصل إلى طبلة الأذن بحوالى (40dBA)، وهى مفيدة جداً لحماية العاملين فى الصناعة أو فى الإنشاءات والمعرضين إلى الأصوات المرتفعة لفترة زمنية طويلة. ولكنها غير مناسبة للاستخدام العملى للشخص المتوسط بالنسبة لأصوات المجتمع. كما أنه لا يمكن الاعتماد على سدادة الأذن كحل وحيد. العاملين عادة لا يستخدموها على أساس استمرارى، رغم مطالبة الشركات باستخدامها.

زيادة مسافة المسار : (Increasing Path Distance)

تنخفض مستويات الصوت كثيراً مع زيادة المسافة من مصدر الصوت. زيادة طول المسار بين المصدر والمستقبل يوفر وسائل سلبية للتحكم، حيث لا تتطلب أى مجهود من جانب المستقبل. قواعد استخدامات الأراضى المتعلقة بمكان المطارات وأدنى مسافات بين المنازل والمساكن والطرق السريعة يستخدم تأثير التوهين والترقيق للمسافة على مستويات الصوت. جهود التخطيط الضعيف على الجانب الآخر، يمكن أن ينتج عنها مواقف حيث المنازل تكون ملاصقة جداً للطرق السريعة. كمثال فى كاليفورنيا تم بناء بعض المنازل ملاصقة لمسافة ٦ أمتار من الطرق السريعة. عند هذه المسافة، مستويات الصوت داخل المنازل حيث النوافذ مغلقة يمكن أن يصل إلى (70dBA) من مرور المركبة.

الصوت المرتفع (Noise) يكون أكثر منه مسبباً للمضايقة عند هذا المستوى. المحادثات العادية قد تكون مستحيلة.

الخفض أو الترقيق فى مستويات الصوت مع زيادة المسافة من المصدر يحدث لأن كمية طاقة الصوت الثابتة يتم انتشارها وتخفيفها على مساحة كبيرة. مع انتشار الموجة الصوتية إلى الخارج من مصدرها، فإن قوتها تقل، من نقطة المصدر، الموجات الصوتية

تميل لتكوين دوائر متحدة المركز وانخفاض الكثافة أو القوة مع مربع المسافة من المصدر. فمثلاً، في حالة مضاعفة طول المسار، فإن كثافة الصوت التي تصل إلى المستقبل تكون ربع كثافته الأصلية. وهذا ما يعرف بعكس قانون المربع (Inversesquare Law).

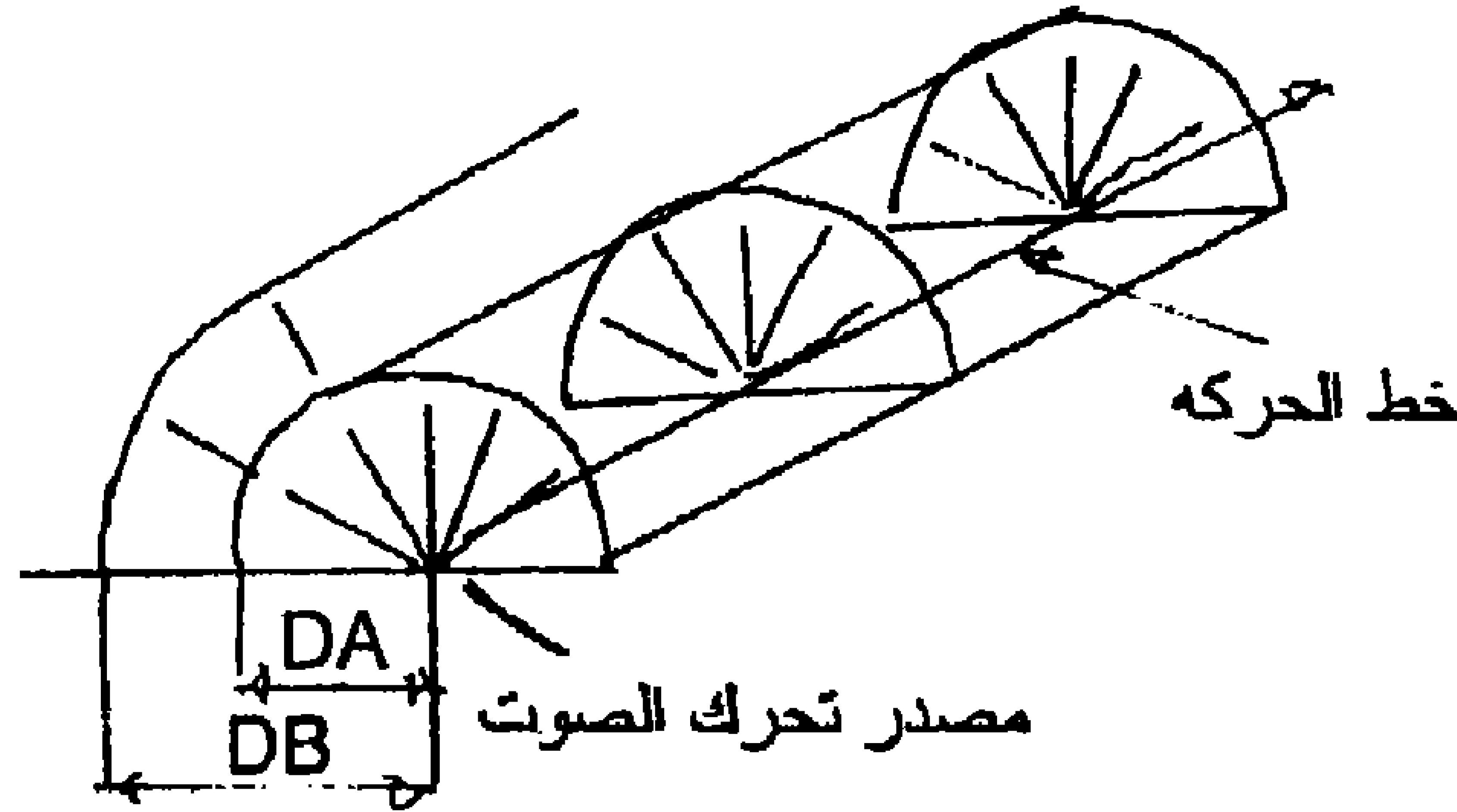
معظم مصادر الصوت ليست نقط، وانعكاسات الموجات الصوتية من الأرض أو الحوائط والأسقف تمنع تكون موجات دائرية. الطريق السريع، مثلاً، يعتبر مصدر خطر للصوت، الذي منه ينتشر الصوت في شكل نصف اسطوانة شكل (Line source) (١٠/٧). العلاقة بين مستوى الصوت والمسافة من خط المصدر يمكن كتابتها كالآتي:

$$SL_B = S_A - 10 \times Log\left(\frac{D_B}{D_A}\right)$$

حيث :

SL_A = مستوى الصوت عند مسافة D_A من المصدر

SL_B = مستوى الصوت عند مسافة D_B من المصدر



شكل (١٠/٧) مع انتشار الموجة الصوتية من خط المصدر للصوت، فإن مستوى الصوت ينخفض بحوالي معدل (3dBA) لكل ضعف المسافة من المصدر

مثال :

تم قياس مستوى الصوت عند مسافة ٤ أمتار من خط المنتصف لطريق سريع مشغول وكان (85dBA). (أ) ما هو مستوى الصوت عند مسافة ١٢ متراً من خط المنتصف للطريق؟ (ب). عند أي مسافة من خط المنتصف للطريق يحدث انخفاض لمستوى الصوت إلى (79dBA)؟

الحل :

(أ) باستخدام المعادلة السابقة الخاصة بالعلاقة بين مستوى الصوت والمسافة من خط المصدر.

$$SL_{12} = 85 - 10 \times L\ og \left(\frac{12}{4}\right)$$

$$= 85 - 10 \times 0.477 \ = 80\ dBA$$

(ب) استخدام المعادلة نفسها ثانياً ينتج

$$79 = 85 - 10 \times Lag \left(\frac{D_B}{4}\right)$$

$$Lag \left(\frac{D_B}{4}\right) = \frac{79-85}{-10} = 0.6$$

من تعريف الدالة اللوغاريتمية

$$\left(\frac{D_B}{4}\right) = 10^{0.6} = 3.98$$

$$\therefore D_B = 4 \times 3.98 \quad , . . = 16\ m$$

مستويات الصوت من خط المصدر تقل بمعدل (3dBA) لكل ضعف للمسافة من المصدر (استخدم المعادلة السابقة لإثبات ذلك). ولكن مستويات الصوت من نقطة المصدر تنخفض بضعف ذلك المعدل، أو (6dBA) لكل مضاعفة للمسافة. استخدم المخطط الموضح في الشكل (٧/٤) لإضافة مستويات الصوت، مع معادلة المسافة المناسبة، تمكن من توقع مستويات الصوت من النقل، الإنشاءات، أو مصادر الصوت الأخرى في المجتمع أو الجوار.

حواجز الصوت : (Noise Barriers)

الحاجز الذى يوضع فى ممر الموجة الصوتية يمتص ويعكس بعض من طاقة الصوت، حيث تنخفض مستويات الصوت على الجانب المعاكس للمصدر. مواد مختلفة تمتص أو تعكس طاقة الصوت بكميات مختلفة. مواد الامتصاص تشمل الستائر الثقيلة، السجاجيد، ومواد السقف الخاصة ومواد الحائط السمعية. مواد الامتصاص يمكن أن تتحكم في الصوت الداخلى، انعكاس الصوت، وصد صدى الصوت (الصوت المنعكس الذى

يستمر فى مكان مغلق بعد توقف المصدر). معظم المواد الصلبة، الناعمة عديمة النفاذية تعكس الصوت. لعمل أى حاجز صوت بكفاءة فإن كل التشققات أو الفتحات الأخرى يجب قفلها.

مادة التشطيب الداخلى عالية الامتصاص للحوائط والأسقف والأرضيات يمكن أن تقلل مستويات الصوت داخل الأبواب إلى حد كبير. فى قاعات المؤتمرات، الموسيقى، قاعات الدراسة، والمسارح، فإن أسطح الانعكاس والامتصاص يجب أن يتم تنسيبها بحرص لخلق أفضل حالات الاستماع. الاستقلال الصوتى بين الحجرات يمكن تحقيقه بسهولة بقواطيع التى تكون ثقيلة ومحكمة ضد تسرب الهواء. معظم مواد البناء والمكونات يتم اختبارها بالنسبة لخواص الصوت وترقم بأرقام درجة انتقال الصوت. مع زيادة رقم انتقال الصوت بالنسبة لأى من القواطيع، كلما كانت الاستقلالية الصوتية أفضل بين الغرف المتجاورة. فمثلاً، نصف بوصة من الجبس على الألواح المثبتة على القوائم الخشبية توفر رقم الانتقال الصوت حوالى (30dB)، وجدار من الطوب بسمك ٤ بوصات له رقم انتقال الصوت حوالى (45dB).

الأسقف المصنعة من مواد الصوف الزجاجى (Fibrous) عادة تسمى الأسقف السمعية، هى ذات قدرة امتصاص عالية للصوت (ليس مثل ألواح الجبس التى هى عالية الانعكاس). الخواص الصوتية لمادة الأسقف هذه توصف بمقادير معاملات خفض الصوت. معاملات خفض الصوت ٠,٨ مثلاً، تبين أن المادة تمتص ٨٠% من الصوت الذى يصلها وتعكس فقط ٢٠% منه. معظم الأسقف الصوتية لها معامل خفض الصوت ما بين ٠,٥ ، ٠,٩، بينما ألواح الأسقف المغطاة بطبقة من الجبس لها معامل خفض الصوت أقل من ٠,٠١. الأسقف الصوتية مفيدة فى خفض مستويات الصوت الداخلية فى المكاتب، المطاعم، المصانع المحدثة للضجيج، مخازن البيع بالتجزئة. ولكن، فإنها توقف انتقال الصوت.

المواد المسامية خفيفة الوزن التى تنتج معدل عالى لخفض الصوت تسمح لمعظم الصوت بالمرور خلالها. فى الواقع، السقف الذى له معدل عالى لخفض الصوت يكون له رقم انتقال للصوت منخفض. لخفض الصوت الداخلى وانتقال الصوت فى نفس الوقت، يمكن استخدام ألواح الأسقف المركبة، هذه الألواح تصنع من مادة عالية الامتصاص تتطابق مع مادة أكثر كثافة التى توفر الخصوصية الصوتية.

خفض المصدر : (Source Reduction)

ربما أن الوسيلة المباشرة للتحكم فى الصوت هى لخفض الصوت المنتج من المصدر نفسه. المحركات والآلات يمكن كتم صوتها لخفض الصوت. فى الأنشطة الصناعية يمكن

تحقيق خفض الصوت باستخدام أغلفة صلبة محكمة حول الماكينات، مع التبطين لمادة الأغلفة هذه من الداخل بواسطة مادة امتصاص الصوت. الماكينات أو أغلفتها يمكن عزلها من الأرض باستخدام حامل زنبركي خاص أو حامل ماص، يمكن كذلك استخدام وصلات مرنة لداخل خطوط المواسير لخفض انتقال الصوت.

أحد أفضل الطرق لخفض مصدر الصوت هو الصيانة الجيدة والمنتظمة للماكينات في التشغيل. حتى أن الماكينات ذات أفضل تصميم تحتاج التشحيم والتزييت طبقاً لخطة وكذلك تحتاج لإعادة الاستقامة لخفض الاهتزازات إلى أدناها. الاتزان المناسب للمكونات الدوارة واستبدال القطع التالفة والتروس ضرورى، التقريط يجب مراجعته من آن إلى آخر لضمان عدم التفكك. كل الماكينات يجب أن تعمل طبقاً لحدود تصميمها الأصلى وذلك لخفض الاهتزازات.

الأصوات من الأنشطة الإنشائية والصناعية :

الأنشطة الإنشائية كانت مصدر الشكوى المتعلقة بالأصوات المرتفعة. الأنشطة الإنشائية تتطلب استخدام معدات ثقيلة كل منها يمكن أن يكون مصدراً كبيراً للصوت، انظر الشكل (٧/١١). مستويات الصوت فى مواقع الإنشاء يمكن الحد منها باستخدام الخطة المناسبة للإنشاء وتقنيات الجدولة. فمثلاً، وضع أجهزة ضغط الهواء المحدثة للأصوات العالية وما يشبهها من المعدات الأخرى بعيداً من حدود الموقع سيساعد على تخفيف مستويات الصوت خارج الموقع. الحواجز المؤقتة يمكن كذلك استخدامها للحد الطبيعى من الصوت. يجب أن يكون مدير الإنشاء ملماً بالقواعد المنظمة للحد من الضجيج، وكذلك حدود الصوت المسموح به من مختلف أنواع المعدات.

معدات الإنشاء مثل ضواغط الهواء المحمولة، معدة تكسير الصخور، وكذلك الحفر فى الصخر، ومعدات تكسير الأسفلت يجب اختبار أصواتها بواسطة صانع المعدة كما يجب أن تتطابق مع معدلات انبعاث الصوت المقررة. مستويات الصوت ذات الثقل (A) يتم قياسها عموماً على مسافة لكل من ١، ٧ أمتار. المواصفات القياسية الدولية (ISO) اقترحت كذلك معايير لانبعاث الصوت لماكينات الإنشاء. ولكنها مبنية على مستويات قوة الصوت وليست على مستويات ضغط الصوت.

ضواغط الهواء المحمولة التى توفر الطاقة لمعدات إنشاءات معينة تم تعريفها بأنها من أهم مصادر الصوت فى موقع الإنشاء. الضواغط الضخمة تحتاج إلى تطويق كامل متضمنا عوازل الاهتزاز وألواح امتصاص الصوت، الهواء يجب دخوله خلال مسارات

(مواسير) معالجة للحد من تأثيرات الصوت، كذلك يجب استخدام مسكن الصوت العادم فى الماكينة. هذه الإحاطات (التطويقات) يمكنها من خفض الصوت من حوالى ١١٠ إلى ٨٥ dBA عند مسافة واحد متر. ولكن توجد بعض أنواع معدات الإنشاء التى يكون من الصعب خفض انبعاثات الصوت. فمثلاً، فإنه يمكن خفض مستويات الصوت باستخدام أجهزة خاصة لكتم صوت العادم، وهذه يمكنها الخفض لكسارات الرصف وثاقبات الصخور فقط من حوالى (108 dBA) إلى حوالى (100dBA) عند واحد متر.

مستوى الصوت dBA عند ٥٠ فهرنتيت
٦٠ ٧٠ ٨٠ ٩٠ ١٠٠ ١١٠

المعدات التى تعمل مجموعات الاحتراق الداخلى

محركات التربة
اسطوانات تسوية
لوادر أمامية
حفار عكسى
جرارات
قضابيات ، جريدرات
معدات رصف
جرارات

تداول المواد
خلاطات خرسانة
مضخات خرسانة
أوناش متحركة
أوناش على منصه

ثابتة
طلمبات
مولدات
ضواغط

معدات الصدمة
بريمه هوائيه
مطارق ومثاقب الرفع
دافعات الخوازيق

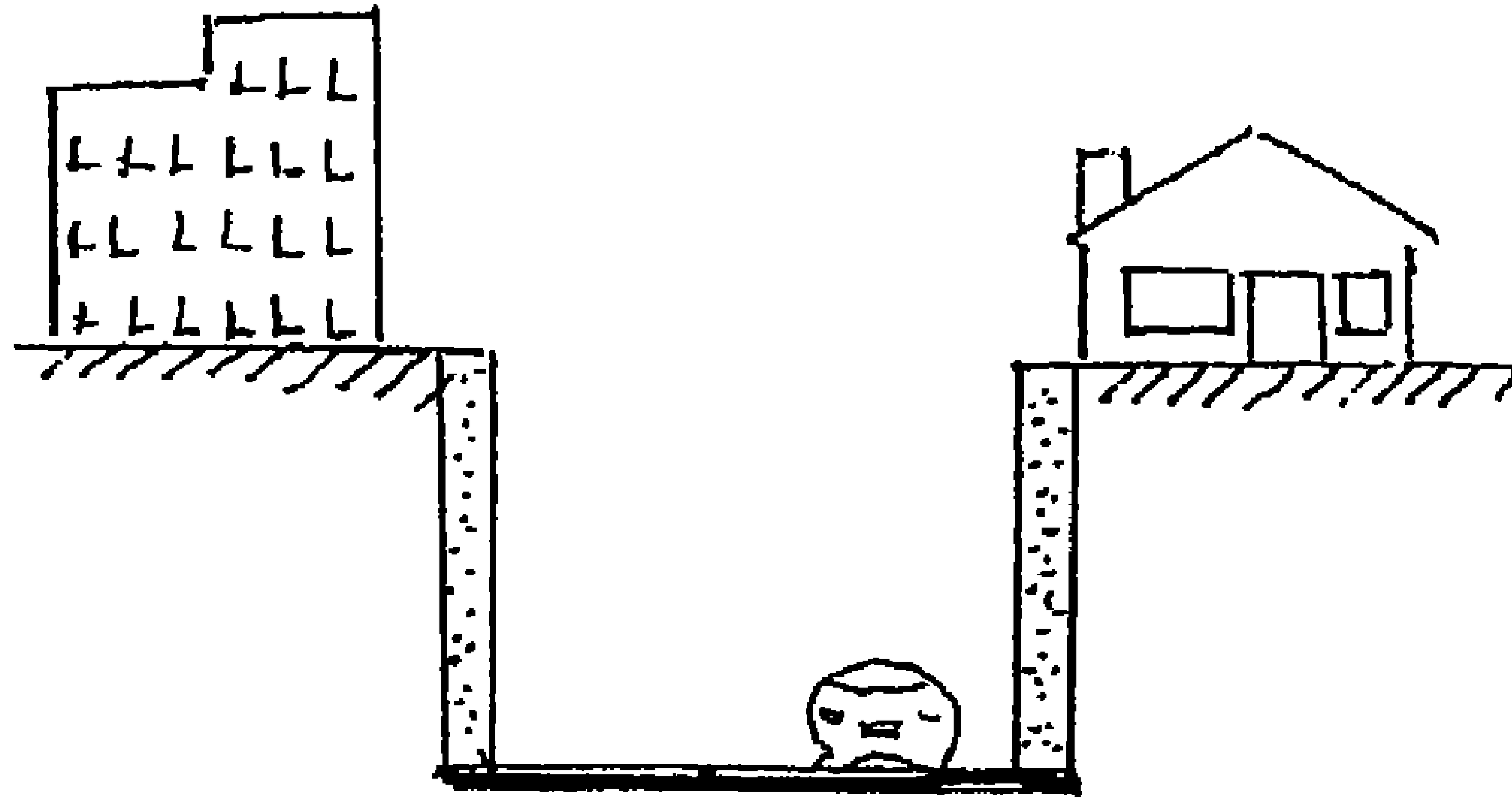
أخرى
هزاز
مناشير

شكل(٧/١١) المجالات النسبية لمستويات الصوت لبعض أنواع معدات الإنشاء الثقيلة

صوت النقل : (Transportation Noise)

معظم أصوات سيارات الحركة المرورية تأتى من حركة عجل المركبة على الرصف ومقاومة الريح. صوت المحرك والعادم للسيارات ذات الصيانة الجيدة تضيف قليل إلى مستوى الصوت. حجم الحركة المرورية والسرعة له تأثيرات كبيرة على كل مستويات الصوت. مضاعفة السرعة تزيد من مستويات الصوت بحوالى (9dBA)، مضاعفة حجم الحركة المرورية (عدد السيارات فى الساعة) يزيد من مستويات الصوت بحوالى (3BA). كذلك التدفق الجيد للحركة المرورية يسبب صوت أقل مقارنة بالشكل المرورى الذى يشمل الإيقاف والتحرك.

التخطيط الجيد للطرق السريعة وتصميمها يعتبر أساسى للحد من أصوات الحركة المرورية. تقييد حدود السرعة المنخفضة لقطاعات الطرق السريعة التى تمر خلال المناطق السكنية، تقييد حجم الحركة المرورية، وتوفير المسارات البديلة لعربات النقل والشاحنات كل هذا يمكن أن يكون مؤثراً كإجراء للحد من الصوت. استخدام الممرات في أنفاق خلال الأماكن الحضرية مؤثر جداً فى خفض صوت الحركة المرورية بالنسبة للمبانى المجاورة. وهذا موضح فى الشكل (٧/١٢).



شكل (٧/١٢) أحد الطرق لخفض صوت المرور فى المدينة هو ببناء مقاطع من الطريق فى مقطع أسفل مستوى الطريق

مسار صوت الحركة المرورية يمكن كذلك حجبه بإنشاء الحواجز الرأسية على طول جانب الطريق السريع. الحوائط الخرسانية أو من الطوب ذات الارتفاع حتى ٤ أمتار يمكنها أن تقلل من مستويات الصوت بحوالى (15dBA). المسارات الضيقة المائلة الأرضية ذات المناظر الطبيعية الكثيفة يمكن أن توفر حل أكثر جاذبية كحاجز للصوت، ولكن عموماً تتطلب حق الأشغال على طول الطريق وهى مكلفة مقارنة بالحواجز الخرسانية أو من الطوب.

أحد أكثر أنواع الأصوات مضايقة تلك التى فى البيئة خارج الباب والتى تكون من الطيران الفوقى للطائرات والقريب من المطارات. معظم الصوت يكون من نظام الدافع للطائرة، المحركات، ريش التربين، مسارات عادم المحرك - أصوات إضافية تأتى من اهتزازات الإطار الهوائى والاضطراب الديناميكى للهواء. يمكن تخفيف حدة الصوت بتحسين تصميم الطائرة والمحرك وكذلك التحكم فى نظام الطيران. توجد معايير كثيرة لقياس ووصف صوت الطائرة، كما توجد مجالات كثيرة لتطوير نظم التحكم فى الصوت.

مراجع الجزء الأول (هندسة البيئة)

1- Ray, B. T. Invironmental Engineering, PWS Publishing Company, Boston, 1995.

2- Davis, M.L, and Cornwell, D. A, Introduction to Environmental Engineering, McGraw- Hill, New York 2nd Edition 1991.

3- Metcalf & Eddy, Inc, Wastewater Engineering Treatment, Disposal, Reuse, 3rd Edition, McGraw Hill Inc. New York 1991.

4- Hammer M. J. Sr and Hammer M. J. Jr. Water and Wastewater Technology 4th Edition, Prentice - Hall, Inc, Vpper Saddle River, New Jersey, 2001.

5- Viessman W, and Hammer. M.J. Water Supply and Pollution Control 6th Edition, Addison - Wesley Publishing Co. Reading, MA, 1998.

6- Beranek, L, Noise and Vibration Control Engineering John Wiley & Sons, Inc. New York, 1992.

7- Blackman, W, C, Jr Basic Hazardous Waste Management, Lewis Publishers/CRC Press, Bocarton Fl, 1998.

8- ملاحق اللائحة التنفيذية لقانون البيئة رقم ٤/١٩٩٤.

9- إعداد المياه للشرب والاستخدام المنزلى للمؤلف طبعة ٢٠٠٢.

الجــزء الثانى

الهندســـة الصحية

....

الفصــل الأول : الهيدروليكا

الفصــل الثانى : نوعية المياه

الفصــل الثالث : تنقية المياه للشرب

الفصــل الرابع : نظم توزيع المياه

الفصــل الخامس : نظم شبكات الصرف الصحى

الفصــل السادس : معالجة وإعادة استخدام مياه الصرف

الهندسة الصحية

مقدمة:

موضوعات الهندسة الصحية تتضمن منهج لدراسات نظم معالجــة ميــاه الــشرب والإمداد بها وكذلك نظم تجميع ومعالجة وإعادة استخدام مياه الصرف الصحى. وقد تــم إعداد هذا المرجع وتصميمه أساساً لإفادة الدراسيين لموضوعات الهندسة الــصحية فــى الكليات والمعاهد. كما يستفاد به في الدراسات البيئية وكذلك للمهتمين فى زيـــادة الثقافـــة البيئية نحو المحافظة على الصحة العامة. وكذلك لتمكين المهتمين بشئون البيئة والــصحة العامة من المهندسين والعلميين وآخرين فى مختلف التخصصات الراغبين فى المـــساهمة فى العمل البيئى الاستعانة بهذا الإصدار كمدخل تقنى للتعرف علـــى مـــشاكل الهندســـة الصحية وحلولها العملية.

نظراً لأن مجال الهندسة الصحية يحتوى على العديد مـــن الموضـــوعات فقـــد تـــم تخصيص الفصل الأول والثانى من الكتاب للتعرف على هندسة الهيدروليكا ونوعية المياه وذلك لتمكين الدارس من استيعاب الأسس التطبيقية لباقى الفصول حيث تنـــاول الفـــصل الثالث التطبيقات الهندسية لتنقية مياه الشرب والفصل الرابع نظم توزيع مياه الشرب أمـــا الفصل الخامس فقد تم تخصيصه لتغطية موضوع نظم شبكات مواســـير تجميـــع ميـــاه الصرف الصحى وقد تم فى الفصل السادس تناول موضوعات معالجة وإعادة اســـتخدام مياه الصرف الصحى التقليدية وكذلك المعالجـــات منخفـــضة التكـــاليف التـــى تناســـب المجتمعات الريفية.

ولقد كان الهدف من إعداد هذا الإصدار هو إثراء المكتبة العربية بكل جديد فى مجال الهندسة الصحية ولإفادة الدارسين والباحثين والمهتمين فى هذا المجال.

والله أسأل أن يحقق ما نبغيه

مهندس استشارى

محمد أحمد السيد خليل

الفصل الأول

الهيدروليكا (Hydraulics)

مقدمـــة :

دراسة الماء من السكون ومن الحركة تسمى الهيدروليكا. الهيدروليكا التطبيقية ترتبط أساساً بحساب معدلات التدفق، والضغط والقوى في المياه ومياه الصرف فى الخزانـــات ووسائل انتقالها. يعتبر الماء من الناحية التطبيقية سائل غير قابل للانضغاط حيث وحـــدة الوزن هى ٦٢,٤ رطل/ القدم المكعب. السلوك الطبيعى والهيدروليكى لميـــاه الـــصرف (الصرف الصحى) تشبه ذلك للماء النقى حيث لا يوجد اختلاف فى التصميم أو التحاليـــل لكلا هذين السائلين.

فى النظام المترى وحدة الوزن (القوة بسبب الجاذبية) تسمى نيوتن (N) ووحدة الوزن للماء هى ٩٨٠٠ نيوتن للمتر المكعب (9800N/m3). مع التقريب يعبر عن هذه بـــ (٩,٨ كيلو نيوتن/م٣). الهيدروليكا هى عامل هام فى تكنولوجيا البيئة. حيث معرفة أساســـيات الهيدروليكا ومبادئها ضرورة عملية للمحترفين فى مجال تصميم أو تحليل نظم إمـــدادات صرف، الحد من تلوث المياه. وهذه الدراسة تفيد المبتدئين وكذلك للمراجعة السريعة لمن لهم دراسات سابقة فى الهيدروليكا أو ميكانيكا السوائل.

١- الضغط : (Pressure)

المياه ومياه الصرف تمارس قوى ضد حوائط محتواها، حيثما كانت مخزنـــة فـــى خزانات أو متدفقة فى خط مواسير. يمكن كذلك أن نقول أن المياه تمارس ضغط، يوجـــد فرق بين القوة والضغط، رغم أن العلاقة بينهما قريبة. يعرف الضغط بأنه القوى علـــى وحدة المساحة. ويمكن توضيح ذلك فى شكل معادلة كالآتى :

$$P = \frac{F}{A} \qquad (1)$$

حيث : P = الضغط ، F = القوة ، A = المساحة التى توزع عليها القوة.

فى الوحدات الأمريكية يعبر عن الضغط بالرطل على البوصة المربعة.

وفى الوحدات المترية يعبر عن الضغط بالنيوتن على المتر المربع.

وحدة النيوتن/ المتر المربع (N/m2) تسمى باسكال (Pascal). واختصارها (Pa). نظرا لأن ضغط واحد باسكال يكون صغيرا جدا حيث واحد باسكال = ٠,٠٠٠١٤٥ رطل/ البوصة المربعه أى (Ipa = 0.000145 Psi). فإنه يستخدم التعبير كيلو باسكال (Kpa) فى معظم التطبيقات الهيدروليكية العملية، حيث :

واحد كيلو باسكال = ١٠٠٠ باسكال (1 K Pa = 1000 Pa) = ٠,١٤٥ رطل على البوصة المربعة = (0.145 Psi).

. . كيلو باسكال = ١٤,٥ رطل/ البوصة المربعة = واحد ضغط جوى.

الضغط الهيدروستاتيكى : (Hydrostatic Pressure)

الضغط الذى يمارسه الماء من حالة الثبات يسمى الضغط الهيدروستاتيكي. المبادئ الهامة جدا الآتية تنطبق دائما على الضغط الهيدروستاتيكى:

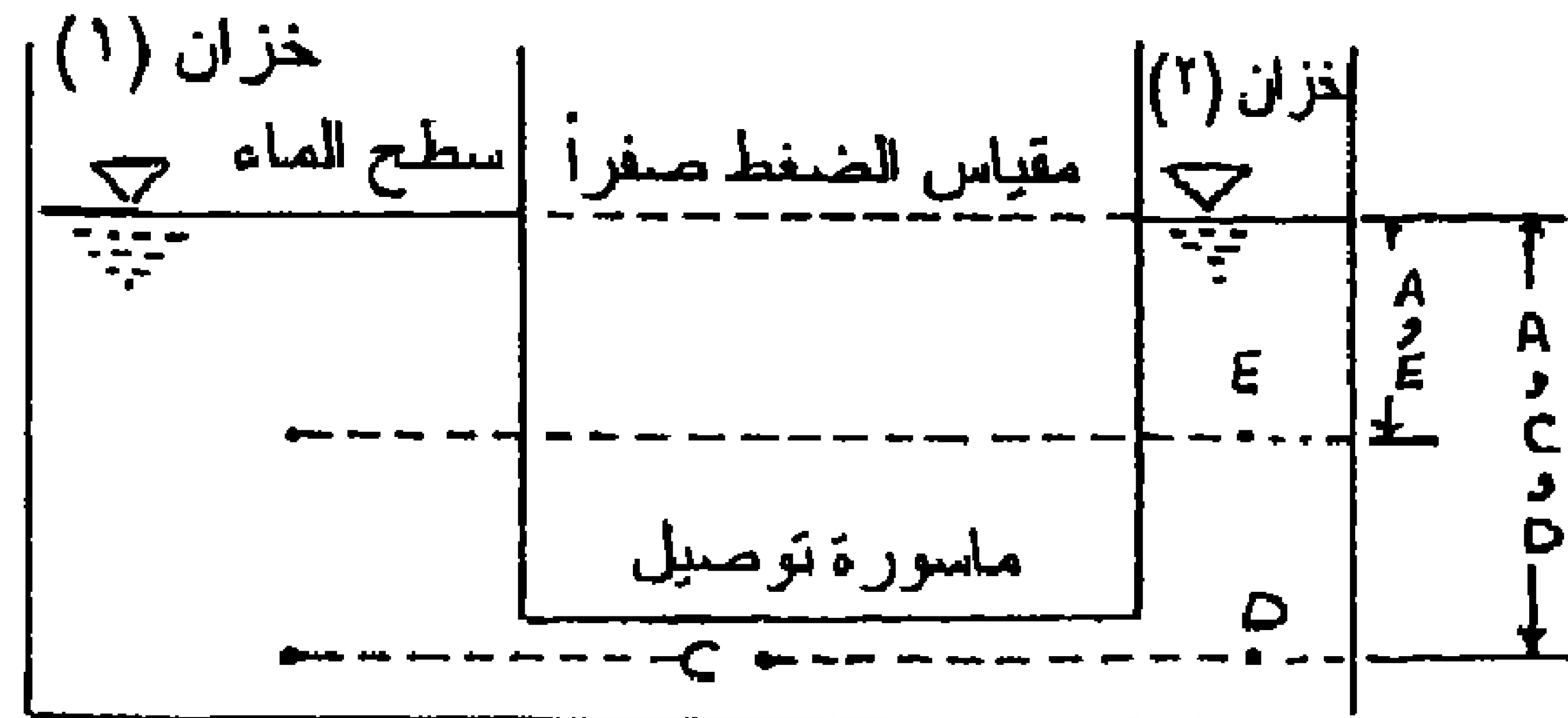
يعتمد الضغط فقط على ارتفاع الماء فوق نقطة ما (ليست على مساحة سطح الماء).

يزداد الضغط بنسبة العمق.

الضغط فى حجم مستمر للماء هو نفسه عند كل النقط التى عند نفس العمق.

الضغط عند أى نقطة فى الماء يعمل فى كل الاتجاهات بنفس القدر.

بفرض خزانين متصلين بواسطة ماسورة أفقية كما فى الشكل (١/١) تكون أسطح المياه فى الخزانين عند نفس الارتفاع. يمكن اعتبار الضغط عند سطح الماء أنه يساوى صفرا. فى الواقع يوجد بعض الضغط عند السطح الحر بسبب وزن عامود الهواء فوقه. هذا الضغط يسمى الضغط الجوى أو الضغط البارومترى.



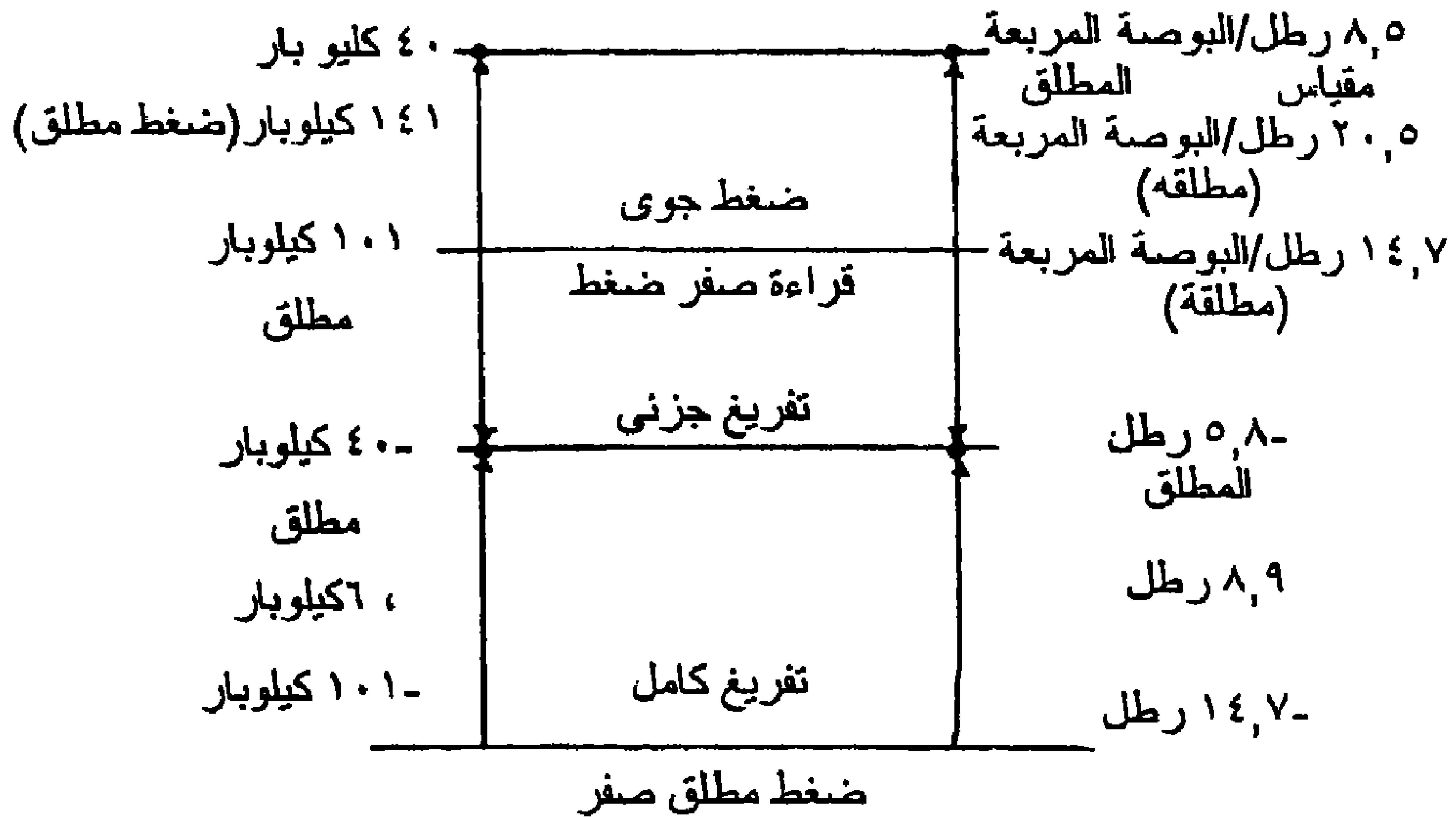
شكل(١/١) الضغط عند النقطة (A) يساوى الضغط عند النقطة E

حيث أن هذه النقط عند نفس العمق فى الماء.

بالمثل الضغط الهيدروستاتيكى عند النقط D , C , B تكون متكافئة

الضغط الجوى عند سطح البحر هو حاليا ١٠١ كيلو باسكال أو ١٤,٧ رطل على البوصة المربعة. فى معظم التطبيقات العملية يتم إهمال الضغط الجوى فى الحسابات الهيدروليكية. بمعنى أخر فإننا نعتبر الضغط الجوى ليكون صفر نقطة البدء. عندئذ، فإننا نتعامل مع الضغط الذى يتم قياسه (Gage Pressure) وليس الضغط المطلق.

التفريغ الكلى يكون ضغطه الصفر المطلق. الضغوط التى أقل من الضغط الجوى ولكنها أكبر من الصفر المطلق هى التفريغ الجزئى (Partial Vacuums). التفريغ الجزئى عند التقييم كضغط مقاس يكون له علامة سالبة، الضغط المطلق يكون دائماً له علامة موجبة. فمثلا الضغط المطلق أو الكلى لـ ٦١ كيلو باسكال (٨,٩ رطل/ البوصة المربعة) يكافئ ضغط مقاس – ٤٠ كيلو باسكال (– ٥,٨ رطل / البوصة المربعة). وهذا موضح فى الشكل (١/٢)



شكل(١/٢) الضغط مقاس بالمعايرة بالضغط القياسى أو الضغط الجوى يسمى (Gauge (Gage) Pressure) يمكن أن يكون بعلامة سالبة عندما يكون أقل من الضغط الجوى. الضغط المطلق (Absolute Pressure) يكون دائماً موجباً.

المبدأ الثانى للضغط الهيدروستاتيكى الموضح سابقا أنه يمكن الملاحظة من الخبرة الشخصية عند الغطس تحت الماء فى حمام سباحة أو فى بحيرة، أنه يمكن الشعور بالضغط على الجسم (وخاصة طبلة الأذن) الذى يزداد عند الغوص إلى عمق أكبر فى الماء. الضغط عند النقطة (B) القريبة من قاع الخزان شكل (١/١) أكبر من الضغط عند النقطة (A)، كذلك الضغط عند النقطة (A) أكبر من صفر. فى الحقيقة، إذا كانت النقطة

(B) كانت على عمق ضعف عمق النقطة (A)، فإن مقياس الضغط عند (B) سيكون ضعف الضغط عند (A) ذلك لأن الضغط يتغير بنسبة مباشرة للعمق.

فى حالة النقطة (E) فى الشكل (١/١) فى الخزان رقم (٢). نظراً لأن النقطة (E) هى عند نفس العمق أسفل سطح الماء مثل النقطة (A) فإن الضغط عند النقطة (A) هو نفسه الضغط عند النقطة (E).

لا يوجد أى اختلاف لكون الخزان (2) أضيق من الخزان (1). الضغط الهيدروستاتيكى يتوقف على ارتفاع الماء فقط فوق النقط وليس على الحجم أو المساحة السطحية للماء.

حتى أن النقطة (C) فى الماسورة الموصلة ليس لديها ماء فوقها مباشرة، ولكنها تظل لها نفس الضغط مثل النقط (B) , (D). وهذا طبقاً للمبدأ الثالث. طريقة أخرى للتعبير عن ذلك هى بالقول أن الضغط فى السائل الساكن باستمرار ينقل بدون أبعاد على نفس العمق خلال كل السائل.

حساب الضغط :

فى حالة الشكل (a-١/٣) حيث مساحة القاع هى ١م٢. إذا كان الخزان مملوءاً بالماء لارتفاع ١ متر، فإن حجم الماء عندئذ يصبح ١م٣ ويكون وزنه ٩,٨ كيلو نيوتن. الضغط عند قاع الخزان يمكن حسابه من المعادلة رقم (١) حيث :

$$P = \frac{F}{A}$$

حيث : P = الضغط ، F = القوة ، A = المساحة

. . الضغط = ٩,٨ كيلو نيوتن ÷ ١ متر مربع = ٩,٨ كيلو نيوتن/م٢

= ٩,٨ كلو باسكال (9.8 K Pa).

إذا زاد ارتفاع الماء فى الخزان إلى ٢ متر، وأصبح الوزن الكلى للماء هو ٢ × ٩,٨ = ١٩,٦ كيلو نيوتن، ويصبح الضغط عند القاع = ١٩,٦ كيلو نيوتن/ ١م٢ = ١٩,٦ كيلو باسكال كما هو موضح فى الشكل (b -١/٣). يمكن كذلك ملاحظة فى الشكل (c-٢/٣) أنه فى حالة الخزان بمساحة سطحية ٤ م٢ مملوء بالماء لأن الارتفاع الإضافى للماء يكون منتشراً على المساحة الأكبر. وهذا أيضاً يوضح أحد

المبادئ الأساسية للهيدروستاتيك: حيث أن الضغط عند نقطة فى الماء يتوقف فقط على ارتفاع الماء فوق هذه النقطة. التعبير عن ذلك بالمعادلة يكون كالآتى :

(1) $P = 9.8 \times h$

حيث P = الضغط الهيدروستاتيكى (كيلو باسكال)

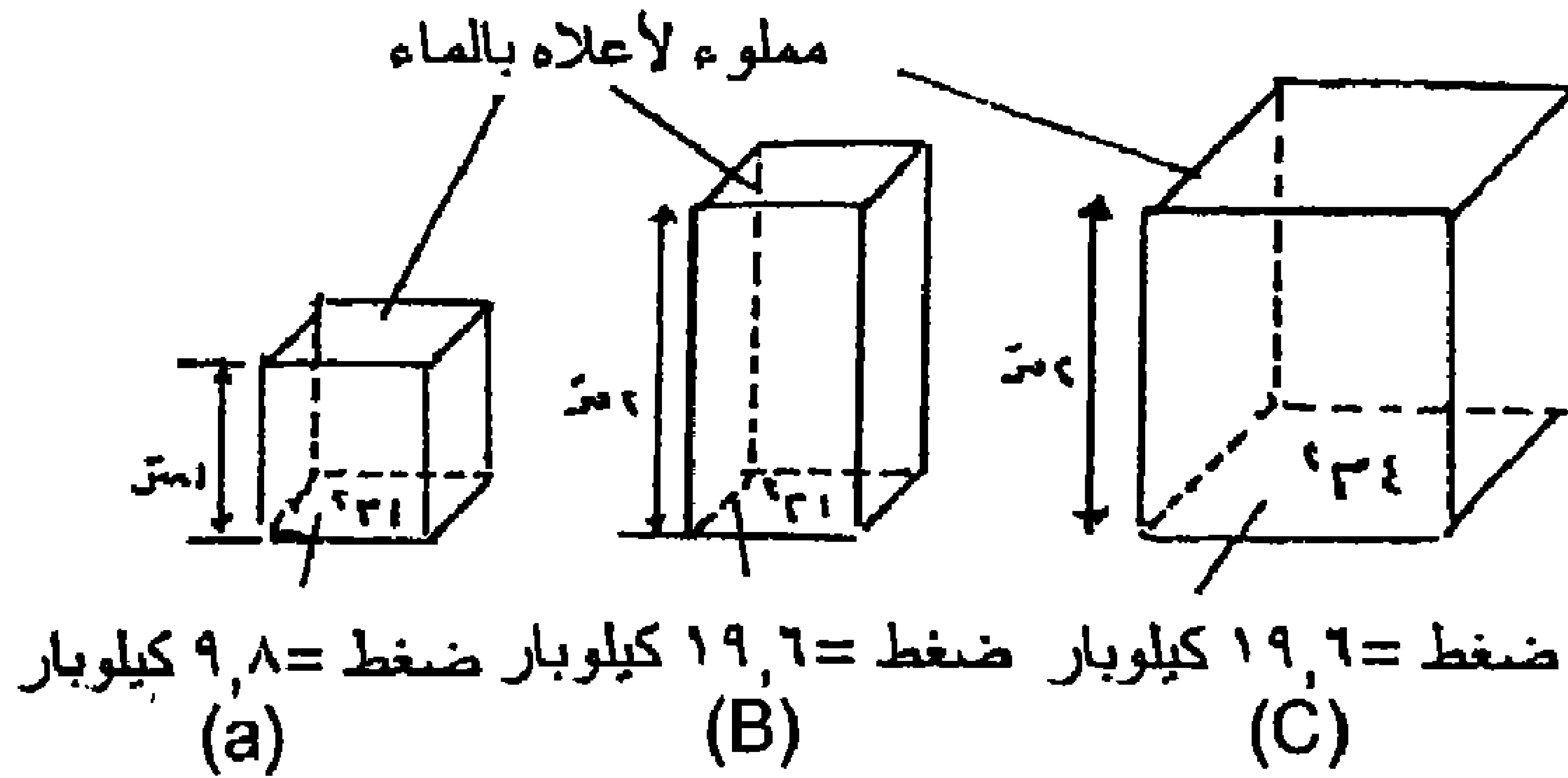
h = عمق الماء من السطح بالمتر.

فى الوحدات العادية يكون قدم مكعب من الماء وزنه ٦٢,٤ رطل. لارتفاع الماء بمقدار واحد قدم على مساحة واحد قدم مربع (١٤٤ بوصة مربعة)، فإن الضغط عند القاع = ٦٢,٤ رطل/ ١٤٤ بوصة مربعة = ٠,٤٣ رطل على البوصة المربعة. وعند استخدام نفس المسببات كما سبق يمكن القول أنه فى حالة الماء

(ب) $P = 0.43 \times h$

حيث P = الضغط الهيدروستاتيكى بالرطل / البوصة المربعة

h = عمق الماء من السطح بالمتر.

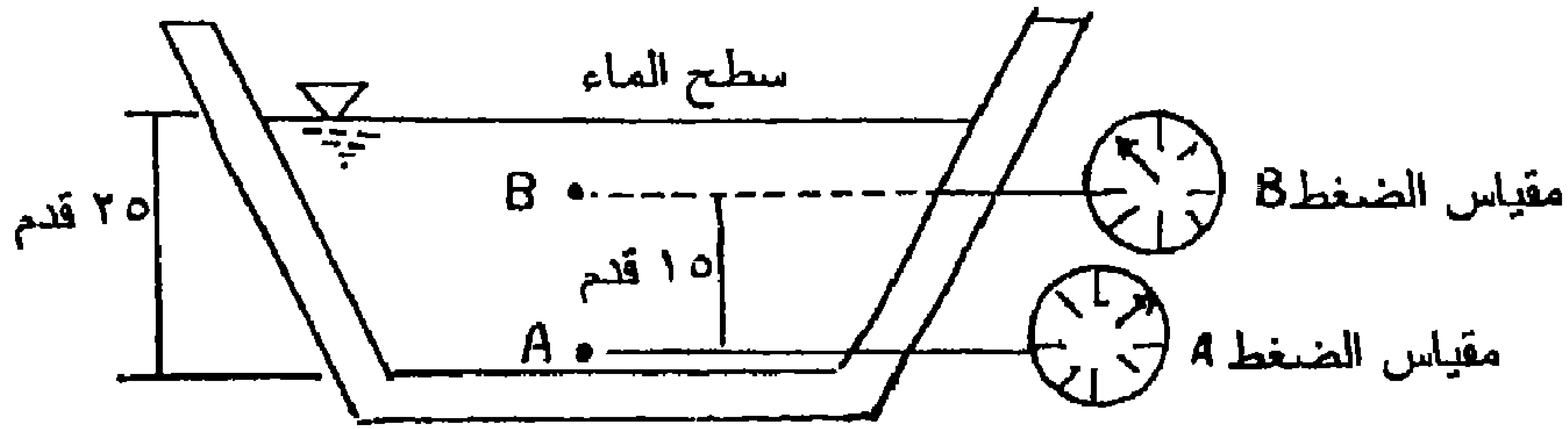


شكل(١/٣ – a) الضغط الهيدروستاتيكى عند نقطة يتوقف عمق الماء فوقها، وليس على المساحة السطحية للماء أو حجم الماء. لاحظ أن الضغط عند قاع

الخزان (B) هو نفس الضغط عند قاع (C).

مثال :

الخزان الموضح فى الشكل (١/٤) له عمق كلى ٢٥ قدم للماء فيه. ما هو الضغط الذى سوف يظهر على العداد (A) عند قاع الخزان ؟ ما هو الضغط الذى سيبينه العداد (B) عند ارتفاع ١٥ قدم من القاع؟.



شكل (١/٤) توضيح للمثال

الحل :

باستخدام المعادلة $(P = 0.43 \times h)$ يمكن حساب الضغط عند قاع الخزان كالآتى :

$P_A = 0.43 \times 25 = 11$ Psi

أى أن الضغط هو ١١ رطل/ البوصة المربعة تقريباً

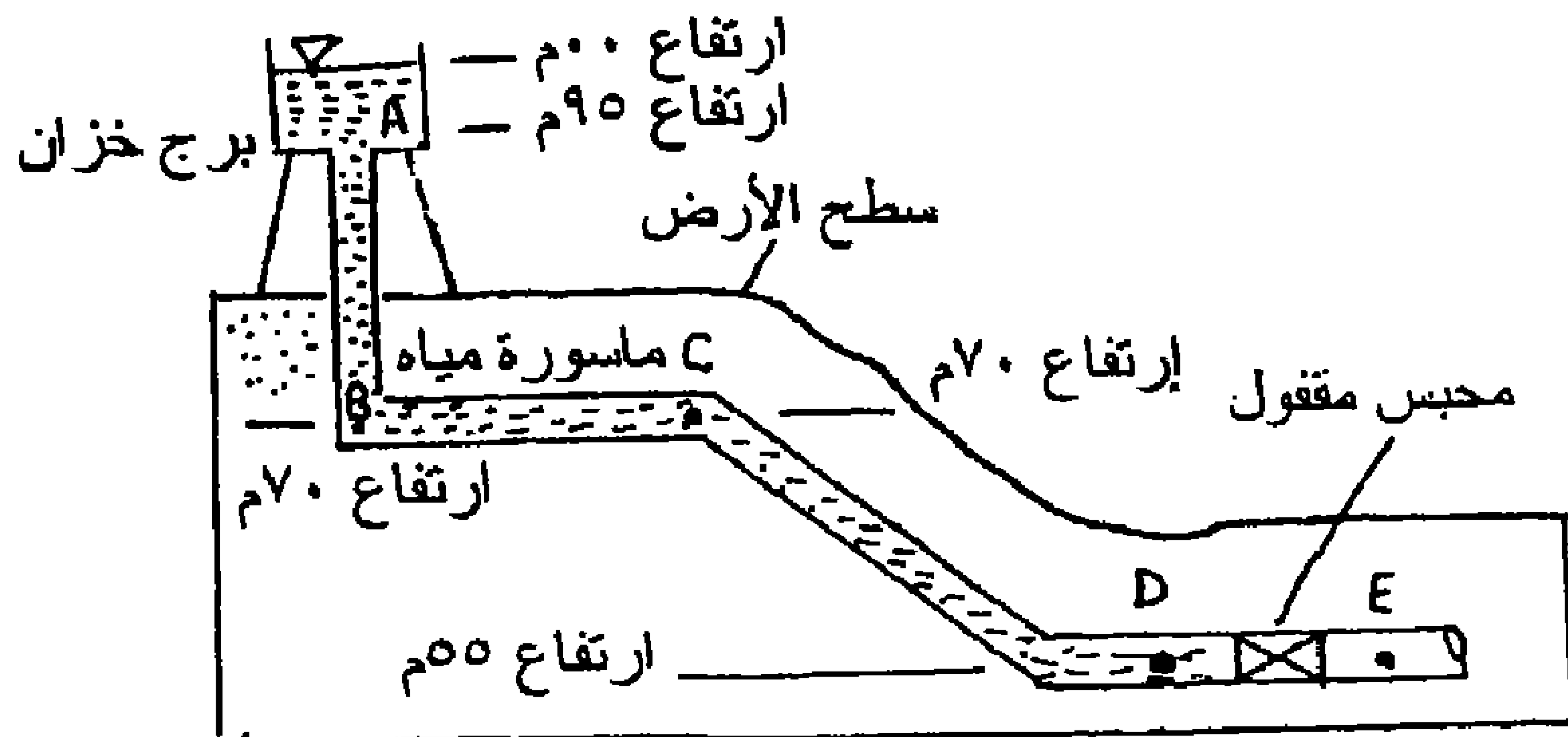
لحساب الضغط الذى سيتم تسجيله بالعداد (B)، يكون من الضرورى أولا تعيين عمق النقطة (B) أسفل سطح الماء. وهى ٢٥ - ١٥ = ١٠ قدم.

لا يتم استخدام ١٥ قدم فوق قاع الخزان، ويتم حساب الضغط كالآتى :

اضغط = ٠,٤٣ × ١٠ = ٤,٣ رطل / البوصة المربعة.

مثال :

خزان مياه علوى ومتصل بخط مواسير كما فى الشكل (١/٥). أحسب الضغط الهيدروستاتيكى عند النقط E , D , C, B, A.



شكل (١/٥) توضيح للمثال

الحل :

النقطة (A) : ارتفاع الماء فوق النقطة (A) فى الحوض يساوى الفرق فى الارتفاع بين سطح الماء وقاع الخزان أو ١٠٠ – ٩٥ = ٥ متر، عندئذا يكون الضغط = ٩,٨ × ٥ = ٤٩ كيلو باسكال.

النقطة (B) : ارتفاع الماء فوق النقطة (B) هو ١٠٠ – ٧٠ = ٣٠ متر، الضغط عند هذه النقطة = ٩,٨ × ٣٠ = ٢٩٤ كيلو باسكال.

النقطة (C) : الضغط عند النقطة C يساوى الضغط عند النقطة (B) نظراً لأن هذه النقطة عند نفس الارتفاع لذلك فإن الضغط عند C = الضغط عند B = ٢٩٤ كيلو باسكال.

النقطة (D) : ارتفاع الماء عند النقطة (D) = ١٠٠ – ٥٥ = ٤٥ متر، الضغط عند هذه النقطة = ٩,٨ × ٤٥ = ٤٤١ كيلو باسكال.

النقطة (E) : لا توجد معلومات كافية لتعيين الضغط عند (E) نظراً لأنها معزولة عن ما فوقها بواسطة محبس مقفول. لاحظ أن الضغط ينقل فقط فى السائل المتصل، الماء عند النقطة (E) غير متصل مع الماء على الجانب الآخر من المحبس.

الضغط الرأسى : (Pressure Head)

إنه من المناسب عادة التعبير عن الضغط بارتفاع عامود الماء، بالمتر أو بالقدم بدلاً من الكيلو باسكال أو الرطل على البوصة المربعة. هذا الضغط الرأسى كما يسمى هو الارتفاع الحقيقى أو المكافئ للماء فوق نقطة ما.

فمثلاً، فى حالة الخزان فى الشكل (١/٤) يمكن ببساطة القول أن الضغط الرأسى عند النقطة (A) هو ٢٥ قدم من الماء بدلاً من ١١ رطل على البوصة المربعة. وبالمثل، الضغط الرأسى عند النقطة (B) هو ١٠ قدم ماء. فى الشكل (٢/٥) الضغط الرأسى عند النقطة (D) هو ٤٥ متر ماء. فى حالة إدخال ماسورة رأسية طويلة فى الماسورة عند النقطة (D) فإن الماء سيرتفع فى الماسورة ٤٥ متر، حتى ارتفاع سطح الماء الأصلى ١٠٠ متر.

فى بعض الحالات، يمكن أن نعرف الضغط بالكيلو باسكال أو بالرطل على البوصة المربعة، ولكن يمكن أن تستخدم وحدات الضغط الرأسى كبديل. هذا يتم كمثال فى حالة تقدير نظم توزيع المياه.

إعادة تنظيم المصطلحات فى المعادلات (أ) ، (ب) فإننا نحصل بالتتالى :

(جـ) $h = \frac{P}{9.8} = 0.1 \times P$

(د) $h = \frac{P}{0.43} = 2.3 \times P$ و

حيث المعادلة (جـ) للوحدات المترية والمعادلة (د) للوحدات بالقدم.

مثال :

محبس ضغط على خزان ماء مفتوح عند نقطة ٥ قدم فوق قاع الخزان سجل ضغط ١٣ رطل/ البوصة المربع. ما هو الضغط الرأسى عند هذه النقطة؟ وما هو إجمالى عمق الماء فى الخزان.

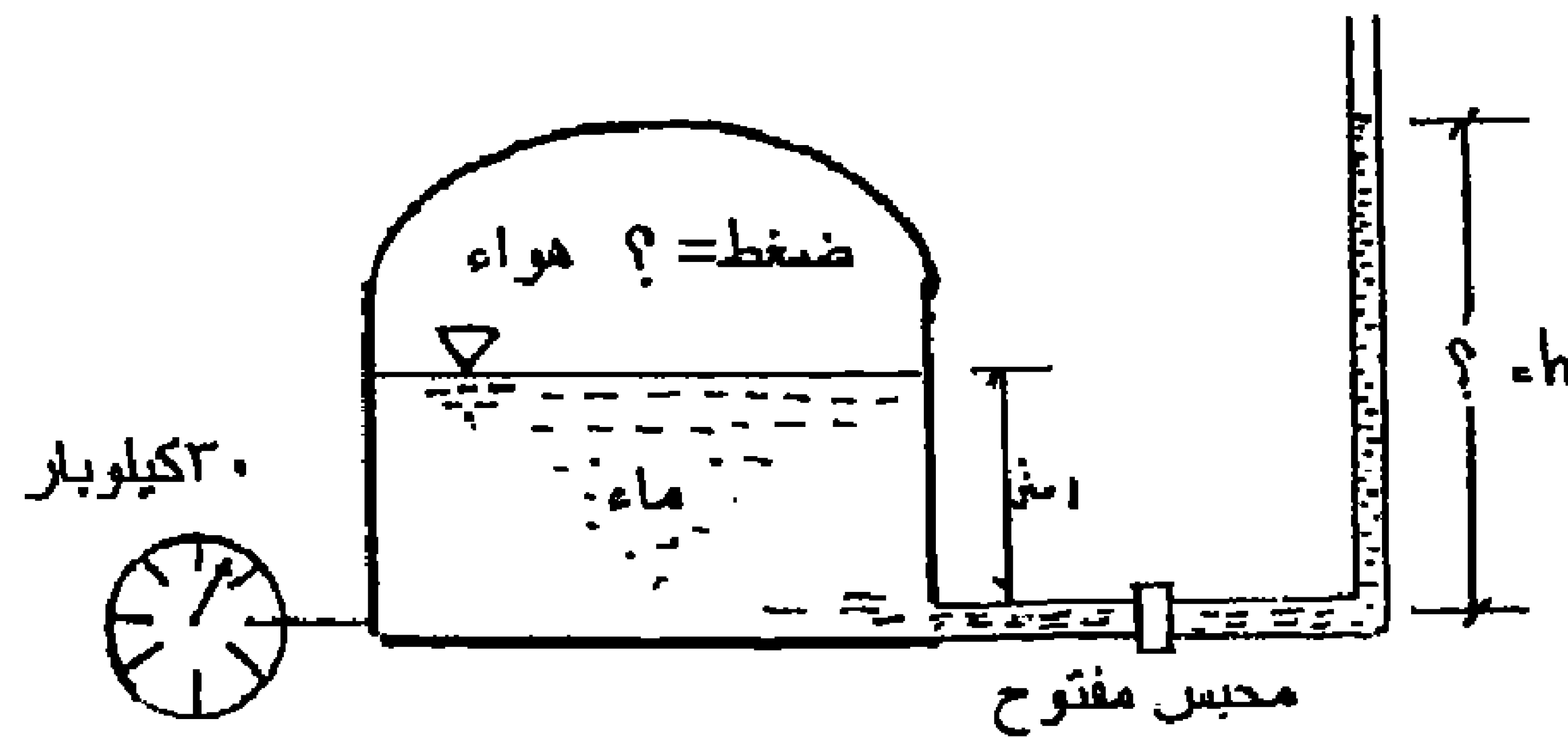
الحل :

باستخدام المعادلة (د) فإننا نحصل على h = ٢,٣ × ١٣ = ٣٠ قدم

الضغط الرأسى يعادل ارتفاع الماء فوق العداد. إجمالى عمق الماء فى الخزان عندئذ سيكون ٣٠ + ٥ = ٣٥ قدم.

مثال :

خزان ملحوم موضح فى الشكل (١/٦) به جيب من الهواء محجوزاً فوق الماء، الذى عمقه واحد متر. مقياس الضغط عند قاع الخزان يقرأ ٣٠ كيلو باسكال. عين (أ) الضغط الرأسى للماء عند قاع الخزان (ب) الارتفاع الذى سيصل إليه الماء فى الماسورة الرأسية فى حالة فتح المحبس (جـ) الضغط فى الهواء المحجوز.



شكل (١/٦) توضيح للمثال

عندما يكون المحبس مفتوحاً، فإن الماء سيرتفع فى الأنبوبة الرأسية إلى ارتفاع معين (h) والذى يتوقف على الضغط فى الخزان

الحل :

(أ) باستخدام المعادلة (جـ) يمكن حساب الضغط الرأسى كالآتى :

h = ٠,١ × ٣٠ = ٣ متر

لاحظ أن الضغط الرأسى أكبر من عمق الماء فى الخزان. وهذا يعنى أن الهواء فى الخزان يجب أن يكون مسببا لضغط إضافى، مدفوعا إلى أسفل على الماء.

(ب) الماء سيرتفع ٣ متر فى الماسورة الرأسية، الارتفاع المساوى للضغط الرأسى عند قاع الخزان.

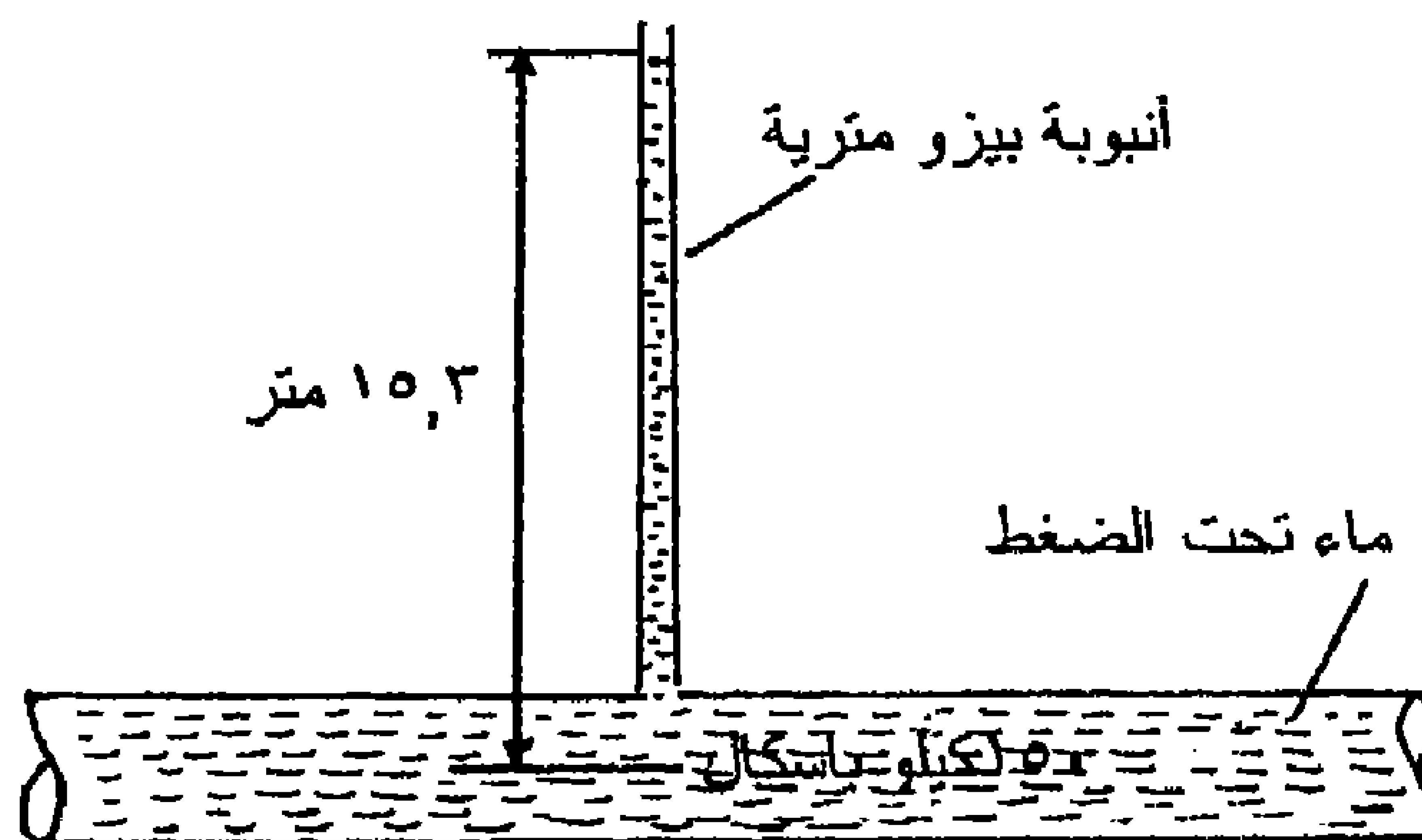
(جـ) إذا كان الخزان مفتوحا إلى الهواء الجوى، عندئذ فإن عمق الماء واحد متر سيسبب ضغط ٩,٨ كيلو باسكال فقط على العداد. الفرق أو ٣٠ - ٩,٨ = ٢٠ كيلو باسكال تقريبا يجب أن يسلط بواسطة الهواء المضغوط فى الخزان المقفل. ٠ الضغط فى حجم صغير من الغاز يعتبر أنه متجانس ولا يتوقف على ارتفاع أو على عمق الغاز.

قياس الضغط : (Measurement of pressure)

قياس الضغط يعتبر هاما فى عمل تجهيزات المحافظة على البيئة.

ضغط التشغيل للطلمبات فى محطات معالجة المياه ومياه الصرف الصحى يجب قياسه ورصده كما أن الضغوط خلال نظام توزيع المياه يجب تحديدها لتوفير الخدمة المناسبة. عادة، قياسات الضغط تتم وتسجل آليا بواسطة أجهزة كهروميكانيكية ولكن يكون من الضرورى أحيانا للبعض قياس الضغوط فى الموقع بتجهيزات أخرى.

أبسط طريقة لتعيين الضغط هى باستخدام الأنبوبة البيزومترية (Piezometer Tube). فمثلا، فى حالة اتصال أنبوبة ضيقة شفافة بخط مواسير تحت الضغط، كما فى الشكل (١/٧)، فإن الماء فى الماسورة سيرتفع فى الأنبوبة حتى يتساوى الضغط الرأسى بسبب عامود الماء مع الضغط فى الماسورة. بقياس ارتفاع العامود بالأمتار أو بالأقدام واستخدام الحساب البسيط بالمعادلة $(P = 9.8 \times h)$ أو $(P = 0.43 \times h)$ فإنه يمكن تعيين الضغط بالكيلو باسكال أو بالرطل على البوصة المربعة.

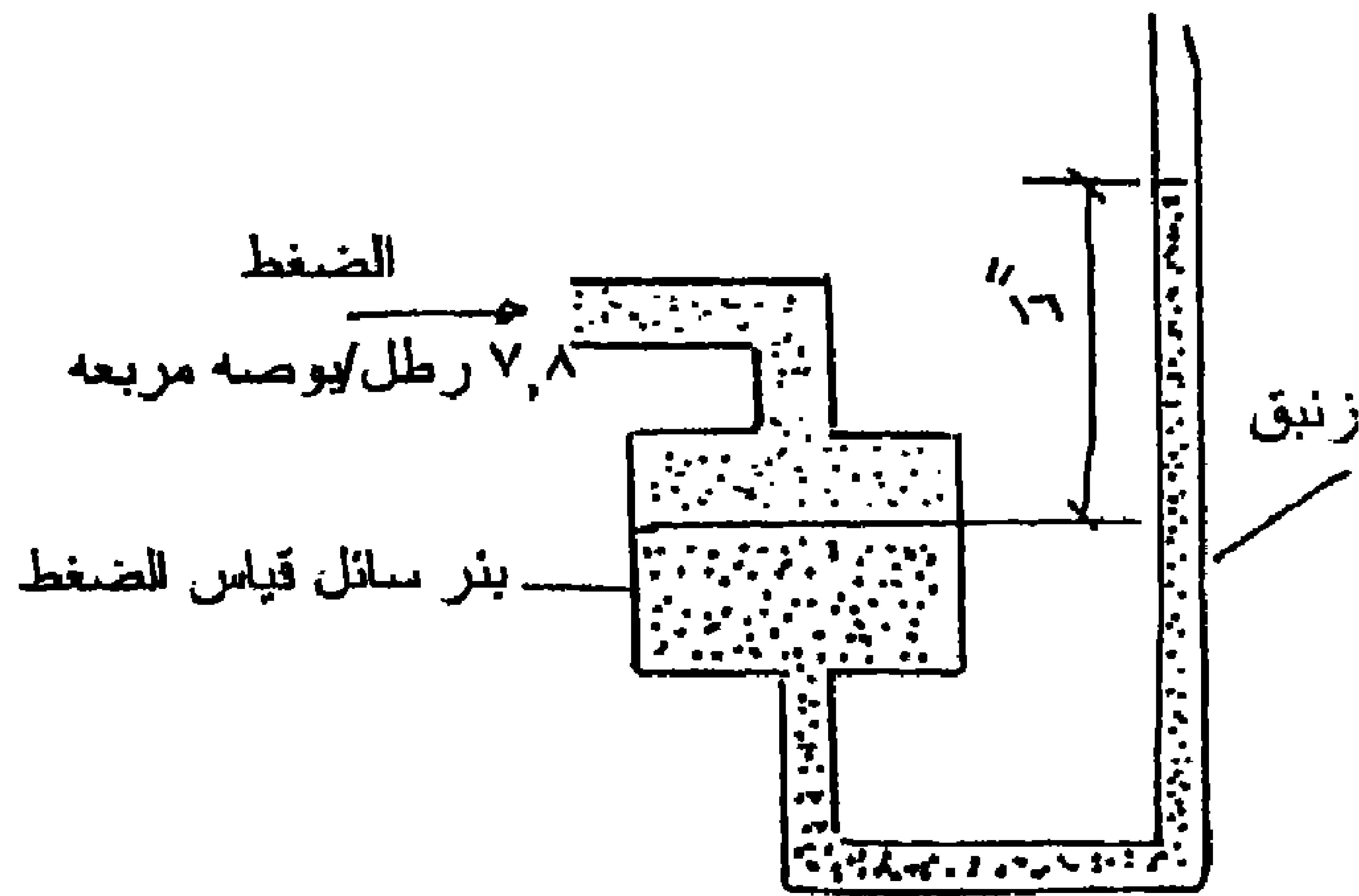


شكل(١/٧) أنبوبة بيزومترية توفر مثال بسيط لتعيين الضغط بالقياس المباشر للضغط الرأسى المقابل.

رغم بساطتها فإن الأنبوب البيزومترى ليس عملياً فى الاستخدامات الحقلية. كما هو موضح فى الشكل (١/٧) لضغط حتى ١٥٠ كيلو باسكال (٢٢ رطل على البوصة المربعة)، فإن الأنبوب البيزومترى يمكن أن يكون حتى ارتفاع ١٥ متر (٥٠ قدم). هذه الأنابيب تستخدم أساساً فى المعامل لقياس الضغوط المنخفضة جداً. فى الفصل الثالث البند السابع استخدام السطح البيزومترى لتوضيح ضغط الماء المحجوز تحت طبقة صماء أسفل سطح الأرض.

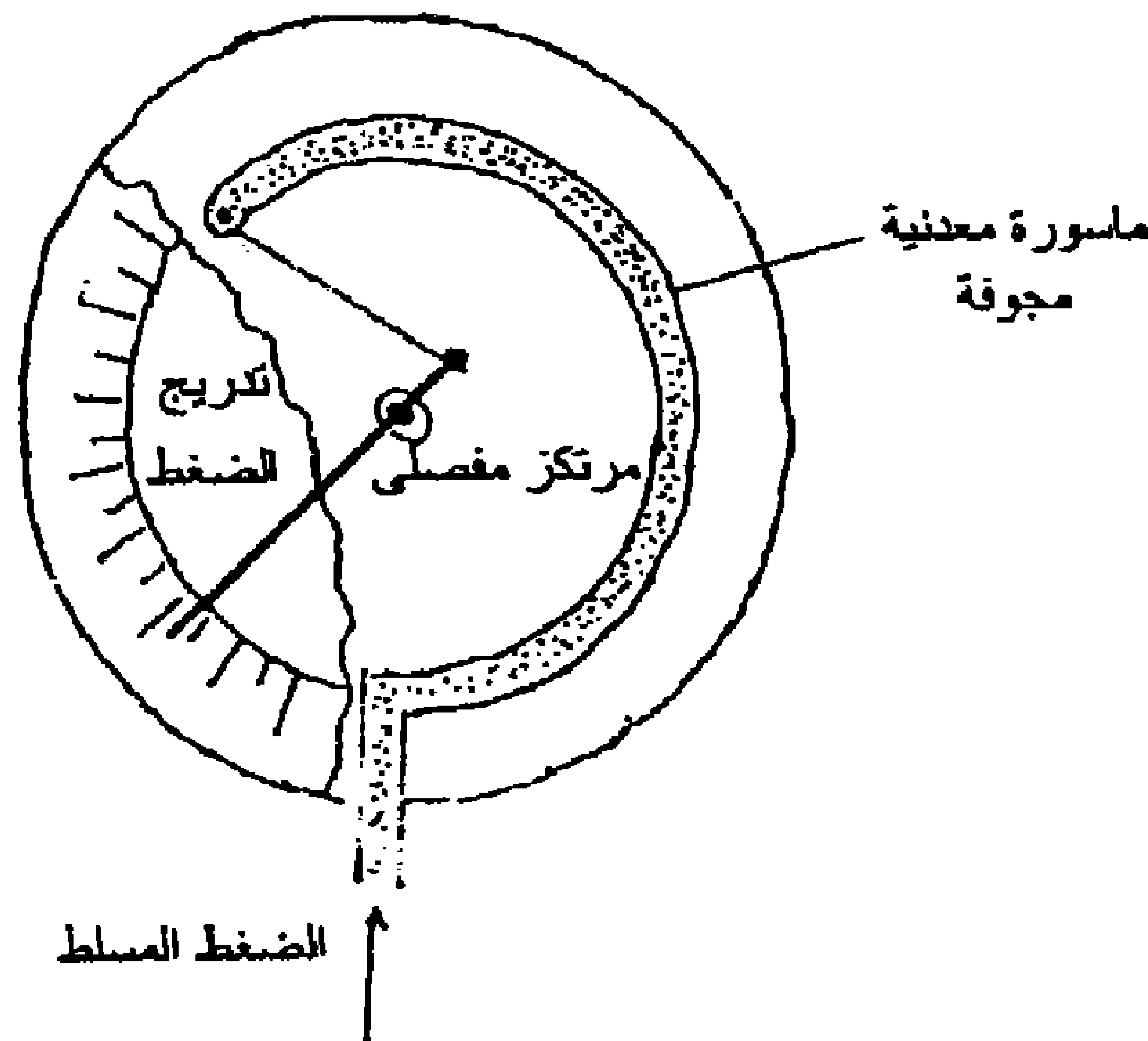
المانوميتر (Manometer) هو تجهيز عملى إلى حد ما لقياس الضغط باستخدام ارتفاع عامود سائل. هذا السائل فى أنبوبة المانوميتر يختلف عن السائل الموجود فى النظام الجارى قياسه. نوع المانوميتر باستخدام الزئبق كسائل موضح فى الشكل (٢/٨). الزئبق معدن ثقيل وهو سائل عند درجة حرارة الغرفة وهو ١٣,٦ ضعف كثافة أو وزن الماء. فى مانوميتر الزئبق يكون مكافئ الضغط الرأسى للماء فى النظام ١٣,٦ ضعف الارتفاع المقاس لعامود الزئبق. فمثلاً، إذا كان عامود الزئبق الموضح فى الشكل (١/٨) هو بارتفاع ١٦ بوصة. فإن الضغط يكون :

اضغط = ١٣,٦ × ٠,٤٣ × (١٢/١٦) قدم) = ٧,٨ رطل/ البوصة المربعة



شكل (١/٨) جهاز قياس الضغط بطريقة بئر الزنبق يستخدم أكثر من الأنبوبة البيزومترية لقياس الضغط فى معظم الأنظمة الهيدروليكية

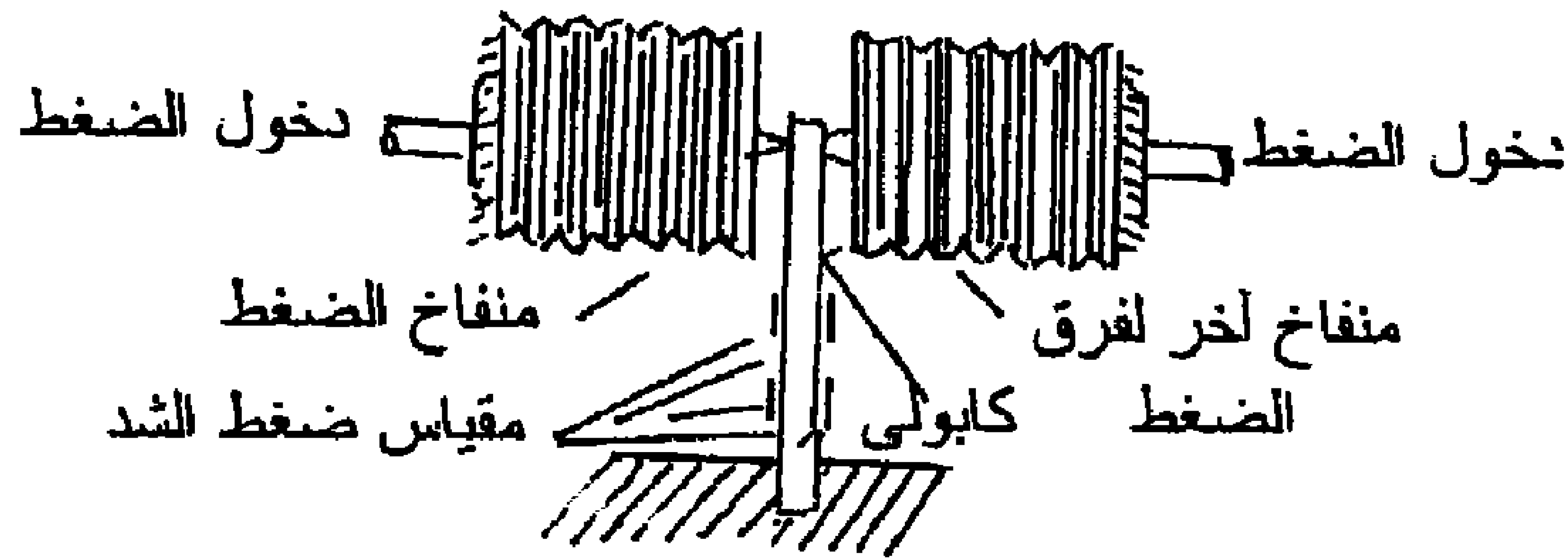
أحد التجهيزات المستخدمة عادة لقياس الضغط هو مقياس أنبوبة بوردون (Bourdon Tube Gage). وهذه تعمل بمبدأ أن أنبوبة المعدن المستوية المجوفة، والمنحنية فى شكل حلزون أو قوس دائرى، تميل إلى أن تنفرد مع تسليط الضغط داخل الأنبوبة. مع الانفراد للأنبوب، فإن المؤشر الملتصق بها يبين الضغط على تدريج معاير. وهذا موضح فى الشكل (١/٩). أنابيب بوردون معايرة لقراءة الضغط أعلى من الضغط الجوى والذى يؤخذ صفر رطل البوصة المربعة (Gage Pressure).



شكل (١/٩) شكل مبسط لجهاز قياس الضغط بطريقة بوردون.

الأنبوبة المفرغة الملتوية تنفرد مع تسليط الضغط، حيث يتحرك مؤشر على تدريج الضغط.

ناقلات الضغط (Pressure Transducers)، هي تجهزيات تستشعر التغيرات في الضغط وتحوله إلى علامات كهربية أو هوائية، تنشأ في محطات معالجة المياه ومياه الصرف الصحي وفي محطات الطلمبات. وهي تنقل الإشارة إلى لوحة تحكم مركزية، حيث يمكن رؤية قراءة الضغط. نموذج لهذا الجهاز موضح في الشكل (١/١٠). فيهذا التجهيز التغير في الضغط يسبب انحناء ذراع الكابولي الرأسي. الإزاحة تغير مقاومة السلك الملتصق بعدادات الإجهاد (Strain Gages)، حيث تنقل إشارة تتناسب مع التغيرات في الضغط.



شكل (١/١٠) مثال لناقل الضغط الذى ينقل الضغط إلى إشارة كهربية مكافئة

٢- التدفق : (Flow)

معظم التطبيقات الهيدروليكية في تكنولوجيا البيئة تتضمن حركة الماء – في المواسير تحت الضغط أو في قنوات مفتوحة تحت قوى الجاذبية. حجم الماء المار عبر أي نقطة في الماسورة أو القناة في وحدة الزمن يسمى معدل التدفق أو التصرف.

في النظام المترى (SI) وحدة معدل التدفق هي المتر المكعب في الثانية. كذلك يستخدم التعبير لتر/ الثانية خاصة في معدلات التدفق الصغيرة. تعبيرات أخرى للنظام المترى لمعدل التدفق هو مليون لتر في اليوم (١ متر مكعب = ١٠٠٠ لتر)، متر مكعب في اليوم.

في النظام الأمريكي، يكون معدل التدفق بالقدم المكعب في الثانية، الجالون في الدقيقة، أو مليون جالون في اليوم. للتقريب وللتحويل للتذكرة هو أن مليون جالون في اليوم = ١,٥٥ قدم مكعب في الثانية = ٧٠٠ جالون في اليوم. كذلك مليون جالون في اليوم = ٣,٧٩ مليون لتر في اليوم = ٤٤ لتر في الثانية.

مثال :

حول معدل التدفق ٥٠ متر مكعب في الثانية إلى القيمة المكافئة باللتر في الثانية ومليون لتر في اليوم.

الحل :

٥٠ متر مكعب فى الثانية × ١٠٠٠ لتر/ متر مكعب = ٥٠٠٠٠ لتر فى الثانية

٥٠٠٠٠ لتر فى الثانية × ٣٦٠٠ ثانية فى الساعة × ٢٤ ساعة فى اليوم × مليــون لتر / $١٠^٦$ لتر = ٤٣٢٠ مليون لتر فى اليوم.

مثال :

حول معدل التدفق ٥٠ قدم مكعب فى الثانية إلى القيمة المكافئة بالجالون فى الدقيقــة والمليون جالون فى اليوم.

الحل :

باستخدام التحويل ١ قدم مكعب = ٧,٤٨ جالون

٥٠ قدم مكعب في الثانية × ٧,٤٨ جالون/ القدم المكعب × ٦٠ ثانية في الدقيقة.

= ٢٢٤٤٠ جالون فى الدقيقة.

و ٢٢٤٤٠ جالون فى الدقيقة × ٦٠ دقيقة فى الساعة × ٢٤ ساعة فى اليوم.

= ٣٢,٣ × $١٠^٦$ جالون فى اليوم أو ٣٢ مليون جالون فى اليوم.

حل بديل :

باستخدام التحويل التقريبي مع النسب التقريبية تحصل على :

$$\frac{\text{التدفق}}{\text{٥٠ متر مكعب في الثانية}} = \frac{\text{٧٠٠ جالون فى الدقيقة}}{\text{١,٥٥ قدم مكعب في الثانية}} \quad \text{والتدفق} = \text{٥٠} \times \frac{\text{٧٠٠}}{\text{١,٥٥}}$$

= ٢٢٥٨٠ جالون فى الدقيقة.

لأقرب ٥٠٠ جالون فى الدقيقة للأغراض العملية يكون مثــل الإجابــة الأولــى أو ٢٢٥٠٠ جالون فى الدقيقة، وبالنسبة لمليون جالون فى اليوم نحصل على :

$$\frac{\text{التدفق}}{\text{٥٠ متر مكعب في الثانية}} = \frac{\text{مليون جالون فى الدقيقة}}{\text{١,٥٥ قدم مكعب في الثانية}} \quad \text{والتدفق} = \text{٥٠} \times \frac{\text{١}}{\text{١,٥٥}}$$

= ٣٢ مليون جالون فى اليوم.

يوجد فرق بين معدل التدفق وسرعة التدفق. معدل التدفق (Flow Rate) يمثل الحجم في وحدة الزمن، بينما سرعة التدفق (Flow Velocity) تمثل المسافة في وحدة الزمن.

توجد علاقة بين معدل التدفق، سرعة التدفق، مساحة التدفق (Flow Area) يعبر عنها بالمعادلة التالية :

$$Q = A \times V$$

حيث Q = معدل التدفق أو التصرف.

A = مساحة مقطع التدفق.

V = سرعة التدفق.

في الوحدات المترية يعبر عن (A) بالمتر المربع والسرعة بالمتر في الثانية، حيث تكون وحدات (Q) متر مكعب في الثانية. والوحدات العادية الأمريكية يعبر عنها (V) بالقدم في الثانية لذلك تكون (A) قدم مربع ووحدات (Q) تكون قدم مكعب في الثانية. المثال الآتي يوضح معادلة التدفق الأساسية : Q = A x V.

مثال :

مياه تتدفق بمتوسط سرعة ٤ قدم في الثانية في مصرف للأمطار. الماسورة تتدفق ممتلئة بقطر ١٨ بوصة، احسب معدل التدفق بالقدم في الثانية.

الحل :

حيث أن الماسورة تتدفق ممتلئة، فإن مساحة التدفق هي نفسها مساحة مقطع الماسورة. معادلة مساحة الدائرة هي $A = \frac{\pi D^2}{4}$، حيث D هو القطر، π يمكن تقريبها لتكون ٣,١٤.

المساحة يجب أن تقدر بالقدم المربع. أو لا يتم تحويل القطر D من البوصات إلى القدم.

١٨ بوصة × ١ قدم / ١٢ بوصة = ١,٥ قدم.

الآن لحساب مساحة التدفق .

$$A = \frac{\pi \times 1.5^2}{4} = 1.77 ft^2$$

باستخدام المعادلة Q = A x V

∴ معدل التدفق Q = ١,٧٧ × ٤ قدم فى الثانية = ٧,١ قدم مكعب في الثانية.

مثال :

عين القطر اللازم لماسورة لتحمل تصرف ٥٠ مليون لتر في اليوم من الماء بسرعة ٣ متر في الثانية.

الحل :

يمكن تعيين قطر الماسورة (D) من مساحة التدفق المطلوبة (A). نظرا لأن A= Q/V فى هذه المسألة كلا من Q ، V معلومين، ولكن يلزم استخدام الوحدات المناسبة لتكون أبعاد المعادلة صحيحة. أولاً، يتم تحويل معدل التدفق ٥٠ مليون لتر في اليوم إلى القيمة المكافئة لتكون متر مكعب في الثانية :

Q = ٥٠ × ١٠^{٦} لتر فى اليوم × ١ يوم/٢٤ ساعة × ١ ساعة/ ٣٦٠٠ ثانية.

× ١ متر مكعب/ ١٠٠٠ لتر = ٠,٥٨ متر مكعب في الثانية.

والآن يمكن تطبيق المعادلة $A = \frac{Q}{V}$

عندئذ A =[٠,٥٨ متر مكعب في الثانية / ٣ متر في الثانية]= ٠,١٩ متر مربع

نظرا لأن $A = \pi D^2/4$

$$\therefore D = \left[\frac{Ax4}{\pi}\right]^{\frac{1}{2}}$$

∴ القطر = (٠,١٩ × ٤ / π) $^{١/٢}$ = ٠,٤٩ متر

أى أن القطر = ٠,٤٩ متر × ١٠٠٠ مللي/ لتر = ٤٩٠ مليمتر.

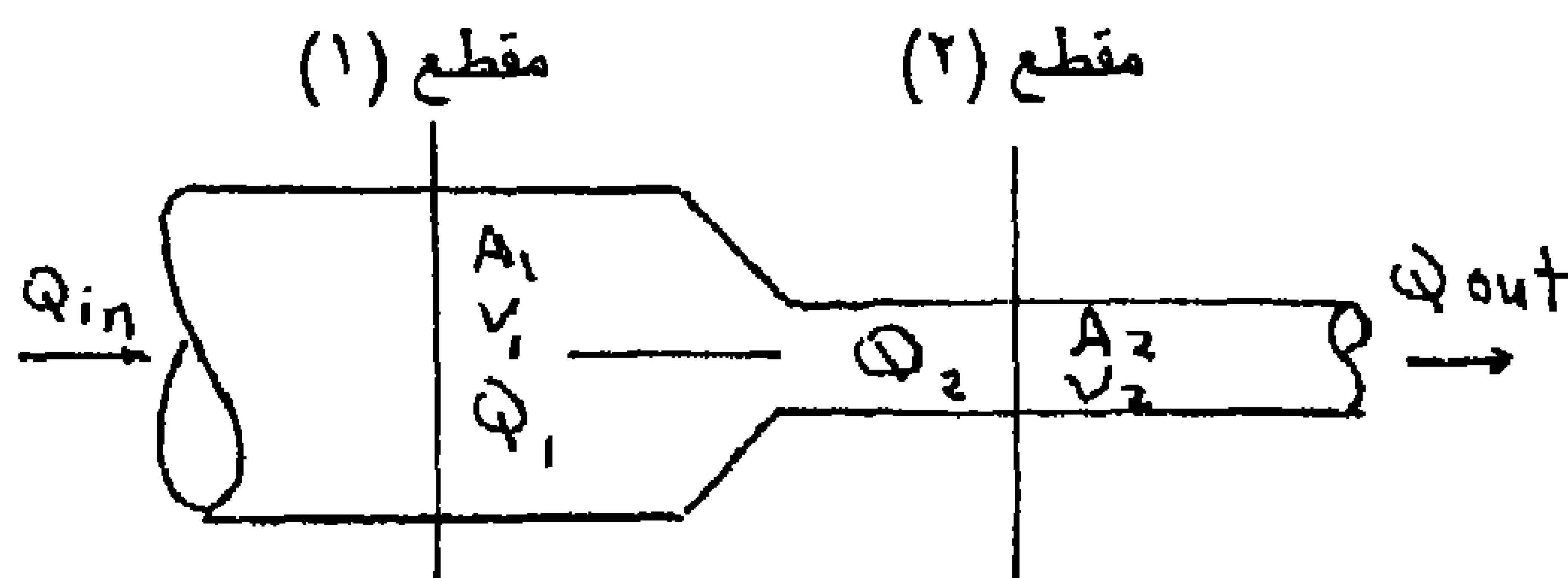
تواصل التدفق بغير انقطاع : (Continuity of Flow)

الماء يعتبر سائل غير قابل للانضغاط. بمعنى أن الحجم لا يتغير بدرجة ملحوظة مع تغير الضغط. لذلك، بالنسبة للتصرف الثابت في ماسورة، فإن معدل التدفق (Q) يجب أن يكون ثابتاً عند أى مقطع للماسورة، ذلك مهما تغيرت مساحة التدفق أو سرعة التدفق.

بالإشارة إلى الشكل (١/١١) يمكن القول أن معدل التدفق (Q_1) عند المقطع (١) يجب أن يساوى معدل التدفق (Q_2) عند المقطع (٢)، نظراً لأن الماء لم يضاف ولم يزال من الماسورة بين هذين المقطعين. ولكن مرور التدفق تقلص عند المقطع (٢) للماسورة. المنطق يقول يجب أن يحدث شئ للماء بسبب نقص مساحة التدفق.

أحد الأشياء التي تحدث هى أن سرعة التدفق تزداد مع تحرك الماء من المقطع (١) إلى المقطع (٢) للماسورة. حيث أن (Q) ثابتة، Q= A x V، وعند صغر A فإن V يجب أن تزداد، حيث أن A x V يجب دائماً أن يساوى Q. وبالعكس فى حالة زيادة مساحة التدفق، فإن السرعة يجب أن تقل.

هذا المبدأ يعرف عادة بالتدفق المتصل بغير انقطاع (Continvity of Flow). حاصل ضرب المساحة فى السرعة يكون ثابتاً في أى مكان فى الماسورة. المثال الآتى يوضح طريق التدفق المتواصل.



شكل (١/١١) للسائل الغير منضغط مثل الماء أو مياه الصرف، فإن معدل التدفق الحجمى Q يكون ثابتاً عند أى مقطع الماسورة. نظراً لأن Q = V x A عندما تختنق مساحة التدفق، فإن السرعة V يجب أن تزداد.

مثال :

فى خط المواسير فى الشكل (١/١١)، المساحة عند المقطع (١) هى ٠,٥ متر مربع والمساحة عند المقطع (٢) هى ٠,٢٥ متر مربع. بالنسبة لمعدل تصرف Q = ١٠٠٠ لتر في الثانية. عين السرعة عند المقطع (١) والمقطع (٢).

الحل :

أولاً حول ١٠٠٠ لتر في الثانية إلى واحد متر مكعب في الثانية باستخدام في المعادلة.

$$Q = A_1 V_1 = A_2 \times V_2$$

أى ١ متر مكعب/ الثانية = ٠,٥ × V_1 = ٠,٢٥ × V_2

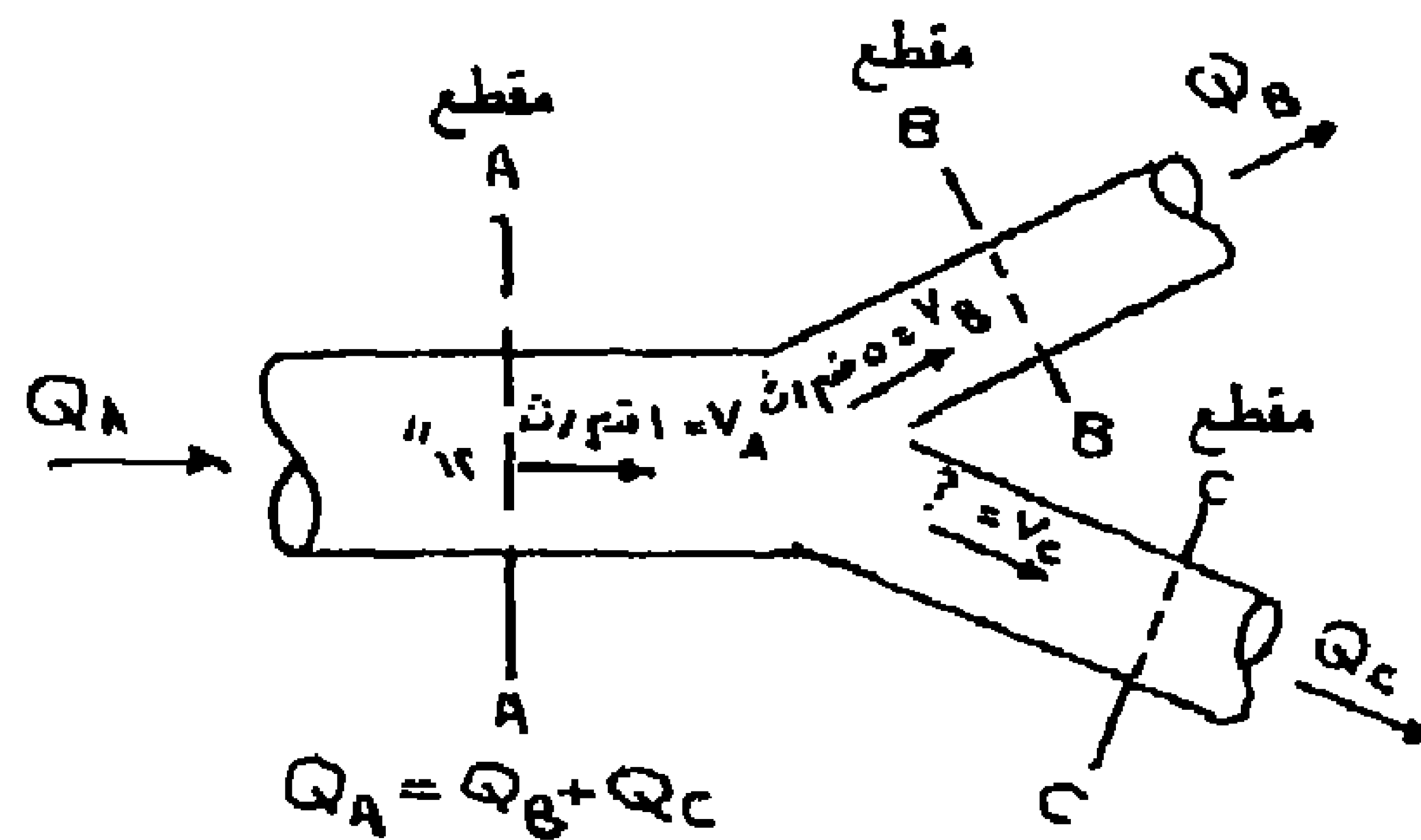
∴ V_1 = واحد متر مكعب/ الثانية ÷ نصف متر مكعب في الثانية = ٢متر في الثانية

V_2 = ١ م٣ / ث ÷ ٠,٢٥ م٢ = ٤ متر / الثانية

لاحظ أنه بسبب نقص المساحة بما يعادل النصف، فإن السرعة زادت بما يعادل الضعف. السرعة تتناسب عكسياً مع المساحة، كذلك السرعة تتناسب عكسياً مع الجزر التربيعي للقطر. إذا كان قطر الماسورة نقص بمعامل (٣) مثلاً، فإن السرعة تزداد بمعامل $٣^٢$ أو ٩.

مثال :

فى حالة مقطع الماسورة المتشعب الموضح في الشكل (١/١٢) احسب سرعة التدفق عند المقطع (C) فى فرع الماسورة بقطر ٦ بوصة. السرعة فى الفرع ١٢ بوصة عند المقطع (A) هى واحدا قدم في الثانية والسرعة عند المقطع (B) فى الفرع ٤ بوصة هى ٥ قدم في الثانية.



شكل (١/١٢) توضيح للمثال

الحل :

نظراً لأن الماء غير قابل للانضغاط، فإن الحجم الكلى للتدفق الداخل إلى النظام في الفرع (A) يجب أن يساوى الحجم الكلى الذى يخرج من النظام في الفرعان (B) (C). وهذا يمكن توضيحه رياضياً بالمعادلة.

$$Q_A = Q_B + Q_C$$

أولا، احسب مساحات مقطع التدفق باستخدام وحدة القدم للقطر.

$$A_A = \frac{\pi \times (١ \text{ قدم})^٢}{٤} = ٠,٧٨٥ \text{ قدم مربع}$$

$$A_B = \frac{\pi \times (٠,٥ \text{ قدم})^٢}{٤} = ٠,٠٨٧ \text{ قدم مربع}$$

$$A_C = \frac{\pi \times (٠,٥ \text{ قدم})^٢}{٤} = ٠,١٩٦ \text{ قدم مربع}$$

والآن يتم حساب معدلات التدفق في الفرعان (A) (B) :

$Q_A = V_A \times A_A =$ ٠,٧٨٥ قدم مربع × ١ قدم / الثانية =

= ٠,٧٩ قدم مكعب في الثانية.

$Q_B = C_B \times A_B =$ ٠,٠٨٧ قدم مربع × ٥ قدم / الثانية =

= ٠,٤٤ قدم مكعب في الثانية.

معدل التدفق في الفرع (C) هو الفرق بين ذلك في الفرع (A) والفرع (B) أو $Q_C = Q_A - Q_B$.

$\therefore Q_C$ ٠,٧٩ قدم مكعب − ٠,٤٤ قدم مكعب = ٠,٣٥ قدم مكعب.

والسرعة V_C هى :

$$V_C = \frac{Q_C}{A_C} = \frac{٠,٣٥}{٠,١٩٦} = ١,٨ \text{ قدم في الثانية}$$

بقاء الطاقة : (Conservation of Energy)

فى المبادئ الأساسية للعلوم الطبيعية أن الطاقة لا يمكن خلقها أو تدميرها، ولكن يمكن تحويلها من شكل إلى آخر. في نظام مغلق معين، تكون الطاقة الكلية ثابتة، وهذا هو قانون بقاء الطاقة. عند الاستخدام في مسائل تشتمل تدفق الماء، ثبت أنه مبدأ مفيد جداً.

في النظم الهيدروليكية، توجد ثلاثة أنواع من الطاقة الميكانيكية وهى الطاقة الكامنة (Potential) بسبب الارتفاع والطاقة الكامنة بسبب الضغط، والطاقة الحركية (Kinetic) بسبب السرعة. الطاقة لها وحدات قدم – أرطال (Foot - Pounds) أو نيوتن – متر (N-m) من المناسب تقدير الطاقة الهيدروليكية بالنسبة للطاقة الرأسية (Energy Head) فى شكل أمتار أو أقدام للماء. وهذا يعادل قدم – أرطال لكل رطل من الماء (ft-1b/1b=ft) أو نيوتن أمتار لكل نيوتن للماء (N-m/N=m).

في النظام الهيدروليكى عندئذ، يوجد ارتفاع، ضغط رأسى، سرعة رأسية (Velocity Head). كل الطاقة الرأسية فى النظام الهيدروليكى تساوى مجموع هذه الطاقات الرأسية. وهذا يمكن التعبير عنه رياضياً كالآتى :

$$E = Z + \frac{p}{w} + \frac{V^2}{2g}$$

طاقة السرعة	طاقة الضغط	ضغط الارتفاع	إجمالى طاقة الضغط

حيث :

E = إجمالى طاقة الضغط.

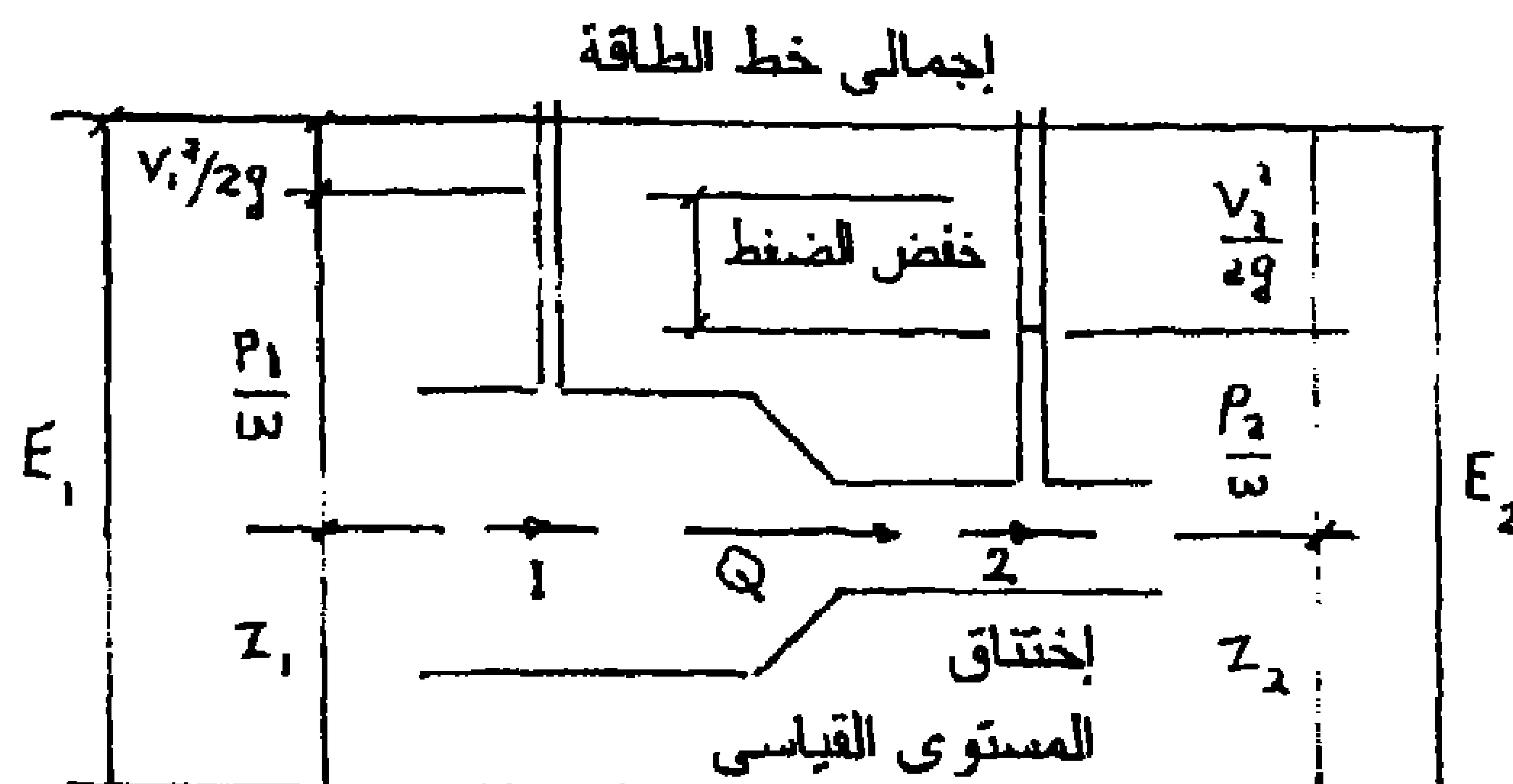
Z = ارتفاع الماء فوق مستوى معين متر (قدم).

P = الضغط كيلو باسكال أو رطل/ البوصة المربعة.

W = وحدة الوزن للماء، ٩,٨ كيلو نيوتن/ متر مربع (٦٢,٤ رطل/قدم مربع)

V = سرعة التدفق متر / الثانية (قدم/ الثانية).

G = عجلة الجاذبية ٩,٨ متر/ ثانية تربيع أى (٣٢,٢قدم/ ثانية^2).



شكل (١/١٣) حيث أن السرعة والطاقة الحركية للمياه التي تتدفق في مقطع الاختناق يجب أن تزداد، فإن طاقة الوضع يجب أن تنخفض (من قانون الحفاظ عل الطاقة) يلاحظ هذا كانخفاض في الضغط فى الاختناق.

فى حالة مقطع الاختناق للماسورة فى الشكل (١/١٣) من قانون بقاء الطاقة، إجمالى الطاقة الكلية في المقطع I، E_1 يجب أن تساوى إجمالى الطاقة الكلية عند المقطع ٢، E_2. يوضح $E_1 = E_2$ واستخدام المعادلة السابقة فإننا نحصل على :

$$Z_1+\frac{p_1}{w}+\frac{V_1^{\,2}}{2g}=Z_2+\frac{P^2}{w}+\frac{V_2^{\,2}}{2g}$$

هذه المعادلة تسمى معادلة بيرنوللى (Bernolli's Equation) وهى من أهم المعادلات في الهيدروليكا، كما هو موضح، فهى تطبق للسوائل المثالية حيث اللزوجة والفقد فى الطاقة بسبب الاحتكاك يكون مهملاً.

بالنسبة لما هو موضح فى الشكل (٢/١٣) يمكن تبسيط معادلة برنوللي لأن المواسير أفقية وأن $Z_1 = Z_2$. حيث أنهما متساويان، فإن ضغط الارتفاع يلغى من الجانبين، تاركا :

$$\frac{P_1}{w}+\frac{V_1^{\,2}}{2g}=\frac{P_2}{w}+\frac{V_2^{\,2}}{2g}$$

والآن لنرى ماذا سيحدث عند مرور الماء خلال المقطع المختنق للماسورة، المقطع (٢). من تواصل التدفق، السرعة عند المقطع (٢) يجب أن تكون أكبر من السرعة عند المقطع (١) بسبب صغر مساحة التدفق في المقطع (٢). هذا يعنى أن طاقة السرعة فى النظام تزداد مع تدفق الماء نحو المقطع المختنق. ولكن الطاقة الكلية يجب أن تظل ثابتة. لحدوث ذلك، فإن طاقة الضغط وبالتالى الضغط يجب أن ينخفض. فى الواقع فإن طاقة

الضغط تحولت إلى طاقة حركية فى الاختناق. حقيقة أن الضغط في الماسورة الضيقة أقل من الضغط فى الماسورة الأكبر يعارض ما يستشعره كثيرون. ولكن طبقا لتواصل التدفق وبقاء الطاقة يكون ذلك واقع. كما سيتم مناقشته فيما بعد أن حقيقة وجود اختلاف فى الضغط سيسمح بقياس معدل التدفق فى الماسورة المغلقة.

مثال :

بالنسبة لما هو موضح فى الشكل (٢/١٣)، القطر عند المقطع (١) هو ١٢ بوصة والقطر عند المقطع (٢) هو ٤ بوصة. معدل التدفق خلال الماسورة هو ٢قدم في الثانية والضغط عند المقطع (١) هو ١٠٠ رطل على البوصة المربعة.

ما هو الضغط فى الاختناق عند المقطع (٢)؟

الحل :

أولا احسب مساحة التدفق عند كل مقطع كالآتى :

$$A_1 = \frac{\pi \text{ (١ قدم)}^2}{٤} = \text{٠,٠٨٧ قدم مربع}$$

$$A_2 = \frac{\pi \text{ (٠,٣٣٣ قدم)}^2}{٤} = \text{٠,٠٨٧ قدم مربع}$$

$$V \times A = Q$$

الآن من المعادلة $\frac{Q}{A} = A \times V = Q$

$$V_1 = \frac{\text{٢٠ قدم مكعب}}{\text{٠,٧٨٥ قدم مربع}} = \text{٢,٥ قدم في الثانية}$$

$$V_2 = \frac{\text{٢}}{\text{٠,٠٨٧}} = \text{٢٣ قدم في الثانية}$$

بتطبيق المعادلة $\frac{P_1}{w} + \frac{V_1^2}{2g} = \frac{P_2}{w} + \frac{V_2}{2g}$

$$\frac{100\times144}{62.4}+\frac{(2.5)^2}{2\times32.2}=\frac{P_2\times144}{62.4}+\frac{(23)^2}{2\times32.2}$$

لاحظ أن الضغط يتم ضربه في ١٤٤ بوصة مربعة / القدم المربع للتحويل من رطل/ البوصة المربعة إلى رطل/ القدم المربع ليتطابق مع وحدات (W)، طاقة الضغط تكون بالقدم نحصل على :

$$231 + 0.1 = 2.3\,P_2 + 8.2$$

$$\therefore P_2=\frac{231.1-8.2}{2.3}=\frac{222.9}{2.3}=97\,psi$$

أى أن الضغط عند الاختناق في المقطع (٢) هو ٠,٩٧ رطل/البوصة المربعة.

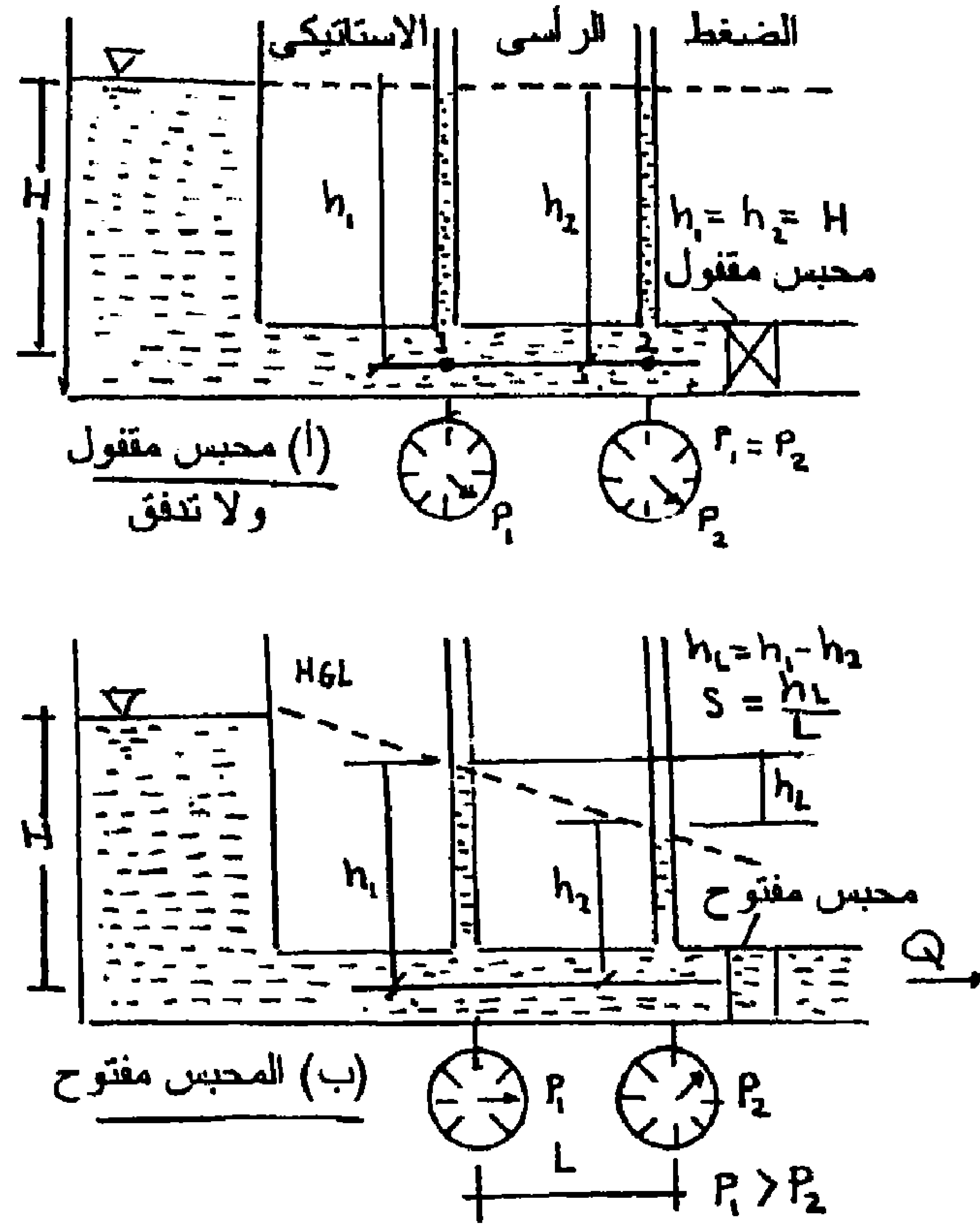
التدفق فى المواسير تحت الضغط (Flow In Pipes Under Preasure)

عند تدفق المياه فى خط المواسير، فإنه يوجد احتكاك بين الماء المتدفق وجدار الماسورة، وبين طبقات الماء المتحركة بسرعات مختلفة في الماسورة. هذا بسبب لزوجة الماء. سرعة التدفق عند جدار الماسورة هى حقيقة صفر وأقصى سرعة تكون على طول محور الماسورة. عند استخدام سرعة التدفق فهذا يعنى السرعة المتوسطة خلال مقطع التدفق.

مقاومة الاحتكاك للتدفق يسبب فقد فى الطاقة فى المنظومة. هذا الفقد فى الطاقة واضح كانخفاض مستمر فى الضغط على طول مسار التدفق.

عادة يكون من الضرورى القدرة على حساب الانخفاض المتوقع فى الضغط فى منظومة ما أو القدرة على تصميم منظومة جديدة مع توصيف أقصى فقد فى الضغط.

فى الشكل (١٤/١-أ) يوضح مقطع مستقيم من الماسورة مملوء بالماء تحت الضغط متصل بخزان. لا يوجد تدفق فى المنظومة وبالتالى لا يوجد فقد فى الضغط عندما يكون المحبس فى الماسورة مغلقاً. يمكن ملاحظة أن طاقة الضغط عند المقطع (١) تساوى طاقة الضغط عند المقطع (٢). عند فتح المحبس، يبدأ التدفق وبالتالى يقابله فقد فى الطاقة بسبب الاحتكاك. هذا الفقد يمكن رؤيته بقياس الضغوط على طول خط المواسير. فى الشكل (١٤/١-ب) الفرق فى طاقة الضغط بين المقطع (١) والمقطع (٢) يمكن رؤيتها فى الأنابيب البيزومترية المتصلة بالماسورة.



شكل (١/١٤) خط الانحدار الهيدروليكي (HGL) هو يمثل الضغط الرأسي فوق خط المنتصف للماسورة، ميله إلى أسفل في اتجاه التدفق يبين الفقد في الضغط بسبب الاحتكاك.

الخط الموصل بين سطح الماء في الخزان مع مناسيب المياه عند المقاطع (١)، (٢) يبين الشكل العام للفقد المستمر في الضغط على طول خط المواسير. وهذا ما يسمى بخط الانحدار الهيدروليكي (Hydraulic Grade Line) (HGL) للمنظومة. وهو مخطط مفيد جداً ويساعد في تحليل مشاكل التدفق في الماسورة.

خط الانحدار الهيدروليكي هو مخطط لجهد الضغط على طول الماسورة، يتم توقيعه فوق محور الماسورة. أنه ليس من الضروري رسم الأنابيب البيزومترية كما في الشكل (١/١٤-ب). خط الانحدار الهيدروليكي يكون دائماً مائلاً إلى أسفل في اتجاه التدفق باستثناء إضافة طاقة للمنظومة بواسطة مضخة. الهبوط الرأسي في خط الانحدار الهيدروليكي بين مقطعين مفصولين بمسافة (L) يسمى الفقد في الطاقة (Head Loss - h_l)

النسبة بين الفقد فى الطاقة (h_L) إلى (L) هو الميل (S) لخط الانحـــدار الهيـــدروليكى أو التدرج (Hydraulic Gmdient) فى شكل معادلة ($S = h_L/L$).

خط التدرج الهيدروليكى دائماً يمر خلال سطح مـــاء حـــر لأى خـــزان مـــاء فـــي المنظومة، نظرا لأن ذلك الارتفاع يعادل طاقة الـــضغط (Pressure Head) عنـــد تلـــك النقطة. كلما زاد معدل التدفق فى خط مواسير، زاد معدل الفقد فى الضغط، وزاد الميـــل لخط الانحدار الهيدروليكى.

معادلة هازن – وليم : (Hazen - Williams Equation)

للقدرة على تصميم شبكة خطوط مواسير مياه أو مياه صرف صحي أو لتحليل شبكة المواسير الموجودة، يكون من الضرورى القدرة على حساب طاقـــة الفقـــد، الـــضغوط، والتدفقات خلال الشبكة، توجد معادلات كثيرة فى الهيدروليكا لعمل ذلك ولكـــن الأكثـــر استخداما هو معادلة هازن – وليام.

$$Q = 0.28 \times C \times D^{2.63} \times S^{0.54}$$

حيث :

Q = معدل التدفق متر مكعب في الثانية أو قدم مكعب في الثانية.

C = معامل خشونة الماسورة.

D = قطر ماسورة بالمتر أو بالبوصة.

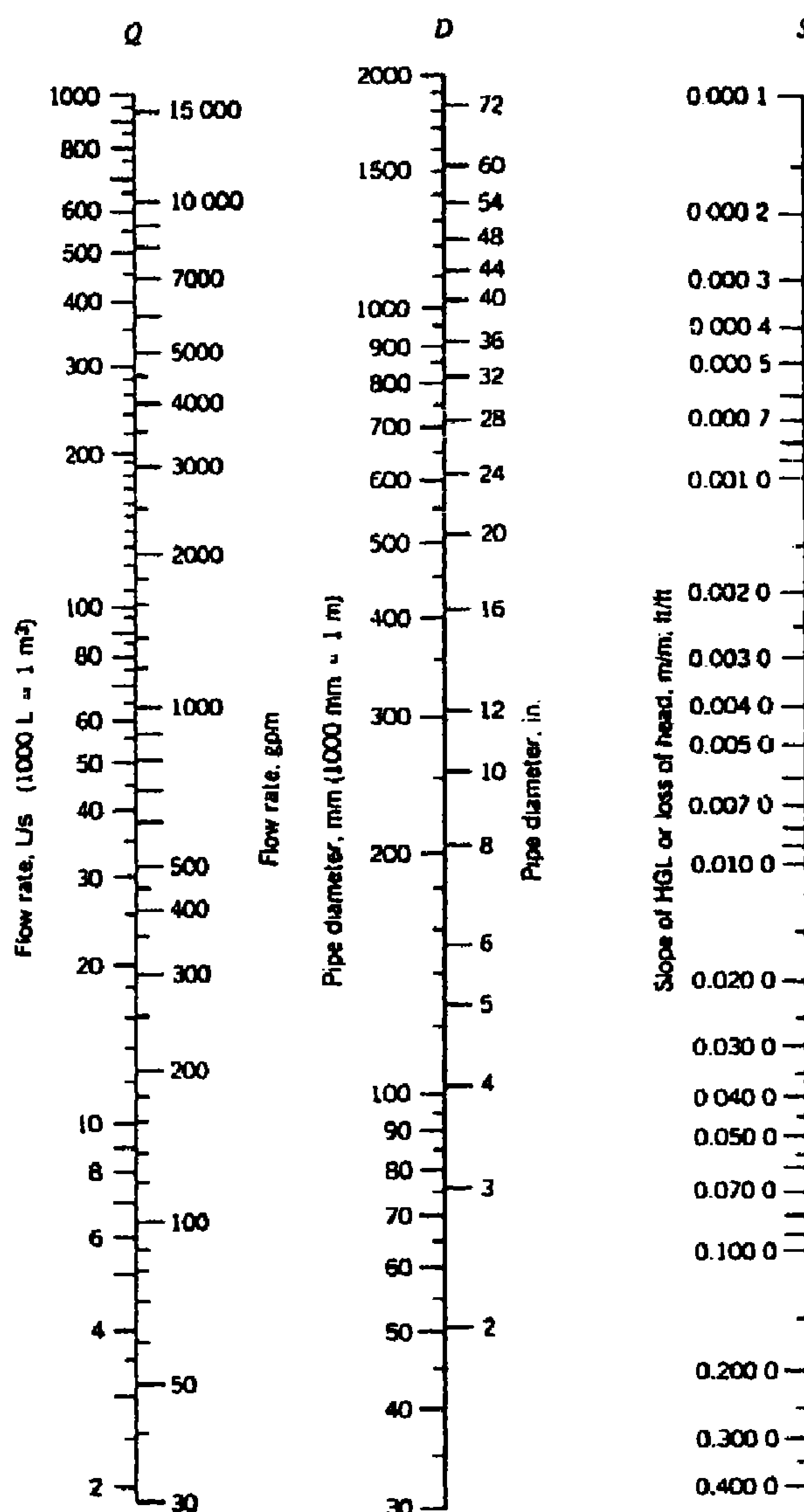
S = خط التدرج الهيدروليكى (بدون أبعاد)

(لاحظ أن هذه المعادلة ليست المعادلة الأصلية لهازن – وليام، ولكـــن مـــع الثابـــت (0.28) يمكن استخدام هذه المعادلة بالدقة الكافية لكل من الوحدات المترية ووحدات القدم/ طالما أن وحدات Q و D المذكورة هنا هى المستخدمة. للأغراض العملية، القيم التى يتم حسابها يمكن تقريبها إلى رقمين ذات قيمة).

مخطط بيانى هازن – وليام : (Hazen - Williams Nomograph)

فى العمل الهندسى، تستخدم برامج الحاسب الآلى المتقدمة للتحليل الهيدروليكى لنظم المياه أو مياه الصرف الصحى الضخمة. ولكن المهندسين والأخصائيين عادة لهم الفرصة

لعمل الحسابات يدويا أى باستخدام الحاسب اليدوى، بعض الحاسبات اليدوية المبرمجة تفيد فى حل المعادلات مثل معادلة هازن – وليام. ولكن كثيرا من العاملين فى هـذا المجـال يقومون باستخدام الجداول والمخططات التى توفر حل سريع وسهل لمعادلة موصـوفة. مساعدات التصميم مثل هذه توفر دقة عددية كافية لجميع الأغراض الهندسية، مثل هـذه المخططات هو المخطط البيانى الموضح فى الشكل (١/١٥).



شكل (١/١٥) مخطط لمعادلة هازن – وليام لتدفق المياه فى المواسير

تحت الضغط C = ١٠٠

تستخدم مسطرة لوضع البيانات المعلومة على خط واحد وقراءة الحل للقيمة الغير معلومة حيث تتقاطع المسطرة مع المحور المناسب.

المخطط البيانى لهازن- وليام الموضح فى الشكل (١/١٥) تم إعداده لمعامل خشونة الماسورة قيمته ١٠٠. قيمة (C) = ١٠٠ يمكن أن تمثل معامل احتكاك لماسورة حديدية غير مبطنة والتى عمرها حوالى ٢٠ سنة. معظم المصممين يستخدمون هذه القيمة عند إعداد خطط لخط مواسير حديد غير مبطن للتعويض عن القدم والتلف للماسورة الذى يصعب تجنبه. المواسير الجديدة تكون أكثر نعومة وتوفر تدفقات أكثر (حيث C أكبر من ١٠٠) قيمة معامل الخشونة للمواسير الخرسانية يمكن أن يكون (C = ١٣٠)، ومواسير البلاستيك الناعمة يمكن أن تكون قيمة (C) لها حتى ١٥٠. فى هذا المرجع كل المسائل لها قيمة فرضية C = ١٠٠.

لاستخدام المخطط البيانى لهازن - وليام يجب معرفة اثنين من القيم الثلاثة (S , D , Q)، القيمة الغير معلومة يمكن عندئذ تعيينها. يتم وضع طرف المسطرة على المحاور بحيث تتقاطع القيمتين المعلومتين بخط مستقيم. القيمة الثالثة توجد عند تقاطع الخط مع محورها المقابل. الأمثلة التالية توضح هذه الطرق.

مثال :

ماسورة بقطر ١٢ بوصة تحمل مياه مع فقد فى الطاقة قدرة ١٠ قدم كل ١٠٠٠ متر من خط المواسير، عين معدل التدفق فى الماسورة باستخدام المخطط البيانى فى الشكل (١/١٥). راجع الحل باستخدام معادلة هازن-وليام.

الحل :

احسب قيمة الميل ($S = h_1/L$) = ١٠ قدم/١٠٠٠ قدم = ٠,٠١

ضع طرف المسطرة المستقيم مقاطعا البيانات ١٢ بوصة على العامود (D)، ٠,٠١ على العامود (S). إقرأ معدل التدفق حوالى ١٦٠٥ جالون فى الجقيقة على عامود التصرف (Q).

عند تطبيق المعادلة تجد أن

Q = ٠,٢٨ × ١٢^٢,٦٣ × ٠,٠١^٠,٥٤ = ١٦٠٥ جالون فى الدقيقة

حل المخطط البيانى له دقة كافية لمعظم التطبيقات العملية.

مثال :

ماسورة بقطر ٨ بوصة تحمل تدفق قدرة واحد قدم مكعب في الثانية، احسب الانخفاض في الضغط لكل ميل من خط المواسير مقدرا بالرطل/ البوصة المربعة.

الحل :

أولا : من الضرورى تحويل التدفق إلى وحدات جالون فى الدقيقة ليمكن استخدام المخطط البيانى.

١ قدم مكعب/ الثانية × ٧,٤٨ جالون/ قدم مكعب × ٦٠ ثانية /الدقيقة

= ٤٥٠ جالون فى الدقيقة.

باستخدام المخطط البيانى يتم توصيل Q = ٤٥٠ جالون فى الدقيقة، القطر D = ٨ بوصة. يتم قراءة قيمة ٠,٠٠٦٤ على المحور S.

حيث $S = \frac{h_L}{L}$ ، $L \times S = h_L$

فى هذه المسألة L هى واحد ميل أو ٥٢٨ قدم لذلك

h_L = ٠,٠٠٦٤ × ٥٢٨٠ = ٣٤ قدم

بمعنى آخر خط الميل الهيدروليكى سوف ينخفض مسافة أفقية قدرها ٣٤ قدم كل ميل من خط المواسير. لتحويل هذا الفقد فى الضغط إلى القيمة المكافئة بالرطل على البوصة المربعة استخدم المعادلة

الانخفاض فى الضغط P = ٠,٤٣ × h_L = ٠,٤٣ × ٣٤ =

= ١٥ رطل/ البوصة المربعة.

مثال :

ما هو أقل قطر لماسورة يلزم لحمل تدفق ٣٠ لتر فى الثانية بدون أن تسبب انخفاض فى الضغط أكثر من ١٠ كيلو باسكال لكل كيلو متر من خط المواسير؟

الحل :

يتم تحويل الفقد فى الضغط إلى المكافئ من طاقة الضغط باستخدام المعادلة السابق ذكرها

$$h = \frac{P}{9.8} = 0.1 \times P$$

$$\therefore h_L = 0.1 \times P = 0.1 \times 10$$

$$= 1m / km$$

أى متر واحد لكل كيلو متر

حيث أن $S = \frac{h_L}{L}$ ، L = ١ كيلو متر = ١٠٠٠ متر ،

S = ١/١٠٠٠= ٠,٠٠١

باستخدام المخطط Q = ٣٠ لتر/ث، S = ٠,٠٠١ يكون القطر D ٣١٠ مليمتر.

الفقد فى الطاقة بسبب اللزوجة والاحتكاك خلال الطول المستقيم لخط مواسير هو السبب لمعظم الانخفاض فى الضغط. هذا الفقد يسمى الفقد الرئيسى. ولكن مع تدفق الماء خلال المحابس والأكواع والتوصيلات الأخرى للماسورة، فإنه يوجد فقد آخر بسبب الاضطراب (Turblence). وهذا يسمى الفقد الثانوى. فى نظم توزيع المياه الضخمة، مجموع الفقد الثانوى يكون صغيراً جداً مقارنة بالفقد الرئيسى ولذلك فإنه يهمل. فى محطات الضخ، حيث يمكن وجود كثير من المحابس والمنحنيات فى مساحة محدودة، فإن الفقد الثانوى يجب حسابه باستخدام معاملات الفقد المناسبة أو معاملات الطول المكافئة.

قياس التدفق : Flow Measurement

المعدل الذى يتم به ضخ الماء فى شبكة التوزيع أو ضخ الصرف الصحى إلى التجميع الرئيسى يجب معرفته وذلك لتحقيق كفاء التحكم والتشغيل للنظام. أحد أهم الأنواع المستخدمة عادة لقياس المنصرف فى الماسورة المغلقة (Closed Pipe) هو مقياس الفنشورى (Venture Meter). وهذا عبارة عن مقياس لفرق الضغط، حيث معدل التدفق يكون مرتبطاً بفرق الضغط الذى يسببه هذا المقياس، باستخدام المعادلات من استمرارية التدفق (Continuity of Flow) ومعادلة بيرنوللى (Bernoulli). مقطع خلال مقياس الفنشورى موضح فى الشكل (١/١٦). كما سبق توضيحه فى البند (٢) نحو ترشيد الطاقة (Energy Conservation) حيث الضغط فى مقطع الاختناق، الذى يسمى زور أنبوبة الفنشورى، يجب أن يكون أقل من الضغط فوق التيار مباشرة لمقطع الماسورة.

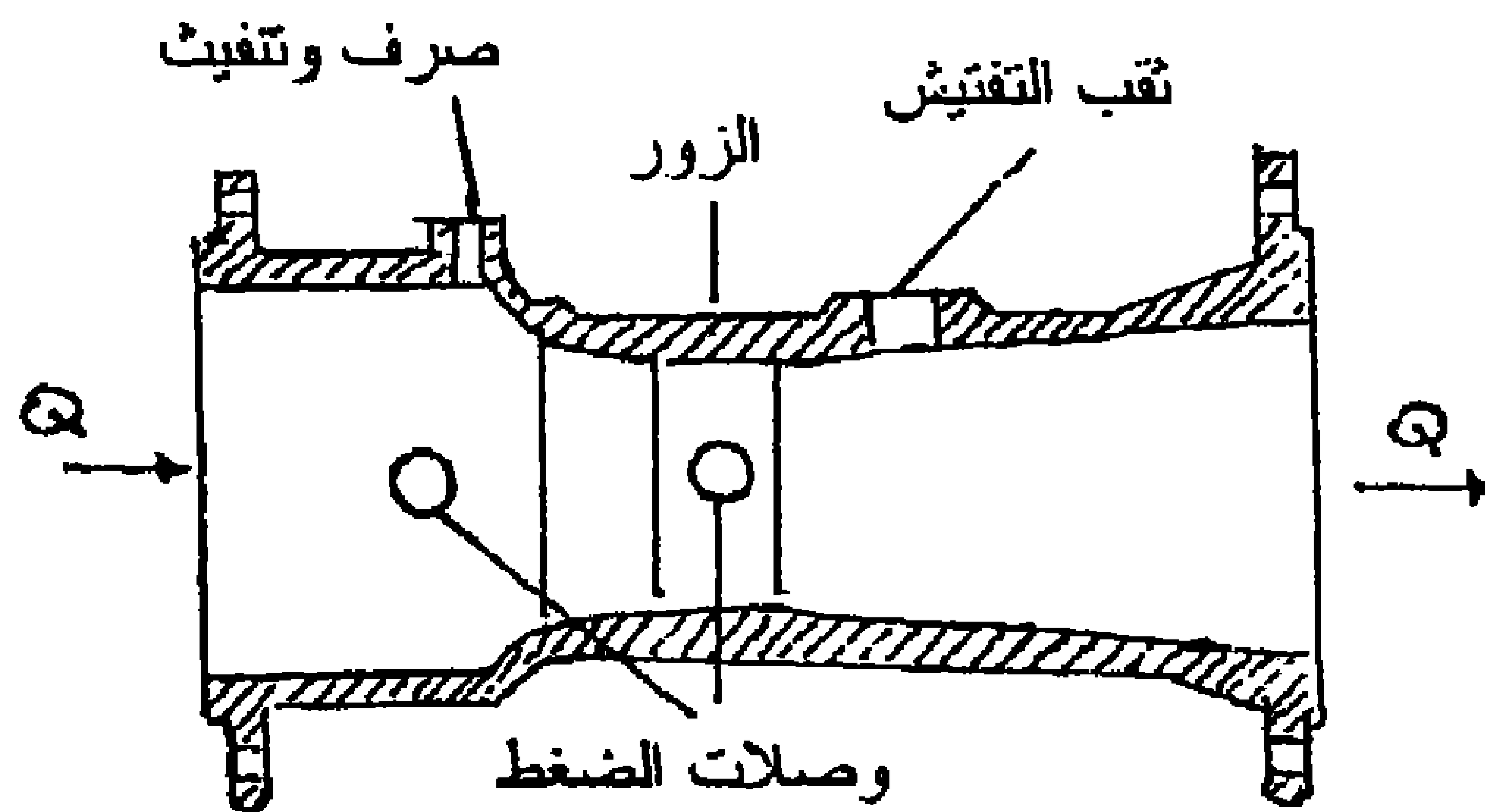
باستخدام معادلة الاستمرارية ومعادلة بيرفوللي، يمكن استنتاج المعادلة التالية للعلاقة ما بين التصرف (Q) وقياس فرق الضغط (P1 - P2).

$$Q = C \times A_2 \left[\frac{2g\,(P_1 - P_2)/\omega}{1-(A_2/A_1)^2} \right]^{1/2}$$

في هذه المعادلة :

C = معامل التصرف الذى يسبب فقد قليل فى الضغط فى مقياس الفنشورى وهو عادة حوالى ٠,٩٨.

كل البيانات الأخرى (المصطلحات) تم توضيحها فى معادلات الاستمرارية ومعادلة بيرنوللي. يجب الحرص نحو الاستخدام للوحدات المناسبة ذلك للمحافظة على مطابقة المعادلة للأبعاد.



شكل (١/١٦) مقياس الفنشورى يمكن إنشاؤه فى خط المواسير لقياس معدل التدفق. الفرق فى الضغط بين زور الفنشورى والمقطع فوق التيار يمكن تحويله إلى تصرف باستخدام معادلة بيرنوللى.

مثال :

مقياس الفنشورى فى ماسورة بقطر ١٠٠ مم، قطر زور الفنشورى ٥٠ مليمتر. تم قياس فرق ضغط ٧٥كيلو بار فى المقياس، ما هو معدل التدفق تحت هذه الظروف.

الحل :

يتم حساب مساحات التدفق بالمتر المربع كالآتى :

$$A_1 = \frac{\pi \times (٠,١ \text{ متر})^2}{٤} = ٠,٠٠٧٨٥ \text{ متر مربع}$$

$$A_2 = \frac{\pi \times (٠,٠٥ \text{ متر})^2}{٤} = ٠,٠٠١٩٦ \text{ متر مربع}$$

نسبة A_2 إلى A_1 = ٠,٠٠١٩٦ ÷ ٠,٠٠٧٨٥ = ٠,٢٥

$١ - (٠,٢٥)^٢ = ٠,٩٣٧٥$

باستخدام المعادلة السابقة نحصل على

$$Q = ٠,٩٨ \times ٠,٠٠١٩٦ \times \left[\frac{٢ \times ٩,٨ \times [٧٥ \div ٩,٨]}{٠,٩٣٧٥} \right]^{1/2}$$

= ٠,٠٢٤ م٣/ث

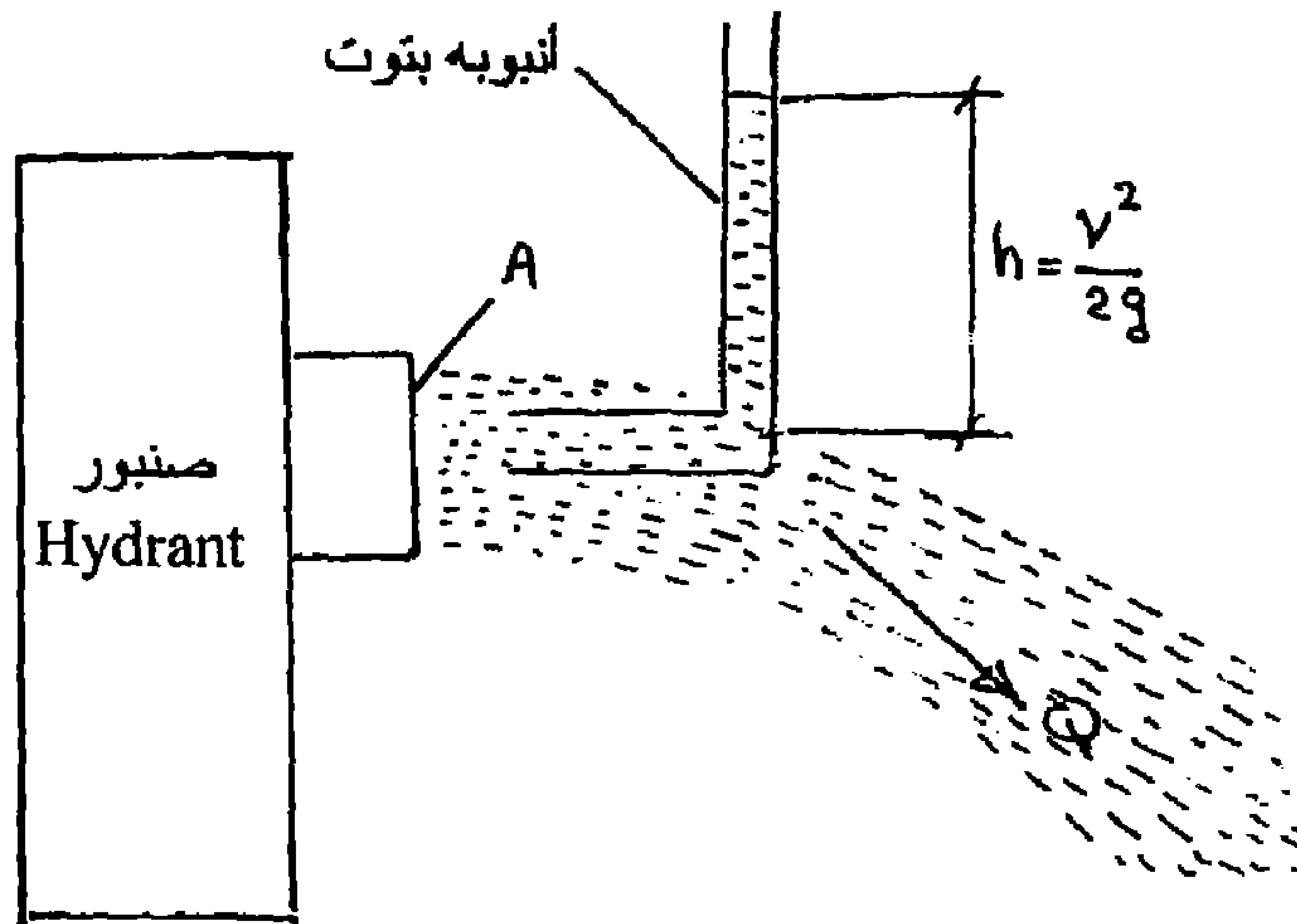
= ٢٤ لتر/ث

فى معظم النظم حيث يلزم الرصد المستمر لمعدل التدفق، فإن فرق الضغط فى أنبوبة الفنشورى يتم إحساسه بواسطة ناقل الضغط (Transducers) ويتم تسجيل معدل التـدفق آلياً على لوحة دوارة للمخطط فى غرفة التحكم. مقاييس الفنشورى متاحة بأحجام مختلفة وكثيرة. يجب أن يكون لها الشكل الصحيح والنسب فى مقطع التحويل، الزور، ومقطـع الخروج للمحافظة على خط مجرى التدفق والقياسات الدقيقة.

مقاييس أخرى لفرق الضغط، مثل مقاييس البزبـوز (Nozzle) أو الفتحـة الـضيقة (Orifice) متاحة كذلك. وهى أقصر بالنسبة للطول الكلى، ولكنها تخنق التدفق (Obstruct the Flow) وتسبب فقد أكبر فى الضغط مقارنة بمقياس الفنشورى.

تجهيزة أخرى لقياس معدلات التدفق فى خطوط المواسير المقفلة وهى مقياس التدفق المغناطيسى (Magnetic Flow Meter). ومميزاته فى أنه لا يسبب أى اختناق فى مـسار السائل.مبدأ العمل مبنى على أن الماء موصل كهربى إلى حد ما وعند تحركه خلال مجال مغناطيسى، فإنه يسبب فرق جهد. المقياس يحصل علـى المجـال المغناطيـسى حـول الماسورة وكذلك يستشعر فرق الجهد الناتج. زيادة معدل التـدفق، تزيـد فـرق الجهـد (الفولت). ترسل إشارات مفرق الجهد إلى مخطط معايير للتسجيل بوحدات معدل التدفق.

التجهيزة تسمى ماسورة بيتون الاستاتيكية (Pitotstatic Tube)، موضحة في الشكل (١/١٧)، يمكن استخدامها لقياس صرف التدفق بواسطة صنبور (Hydrant) مفتوح في نظام توزيع المياه.وتتكون أساسا من أنبوبة مفتوحة من الطرفين ومنحنية بحيث يكون طرفا منهما متجهاً نحو تدفقات الماء بينما الطرف الآخر يكون عمودياً. الجزء العامودى من الأنبوب يمتلئ بالماء إلى ارتفاع يتناسب مع سرعة التدفق. فى حالة معرفة مساحة فتحة الصنبور، فإنه يمكن حساب التصرف من معادلات الإستمراريه وبيرنوللى.



شكل (١/١٧) أنبوبة بتوت هى تجهيزة بسيطة يمكن استخدامها

لقياس سرعة التدفق السرعة تتناسب مع الجذر التربيعى لارتفاع الماء فى الخزان.

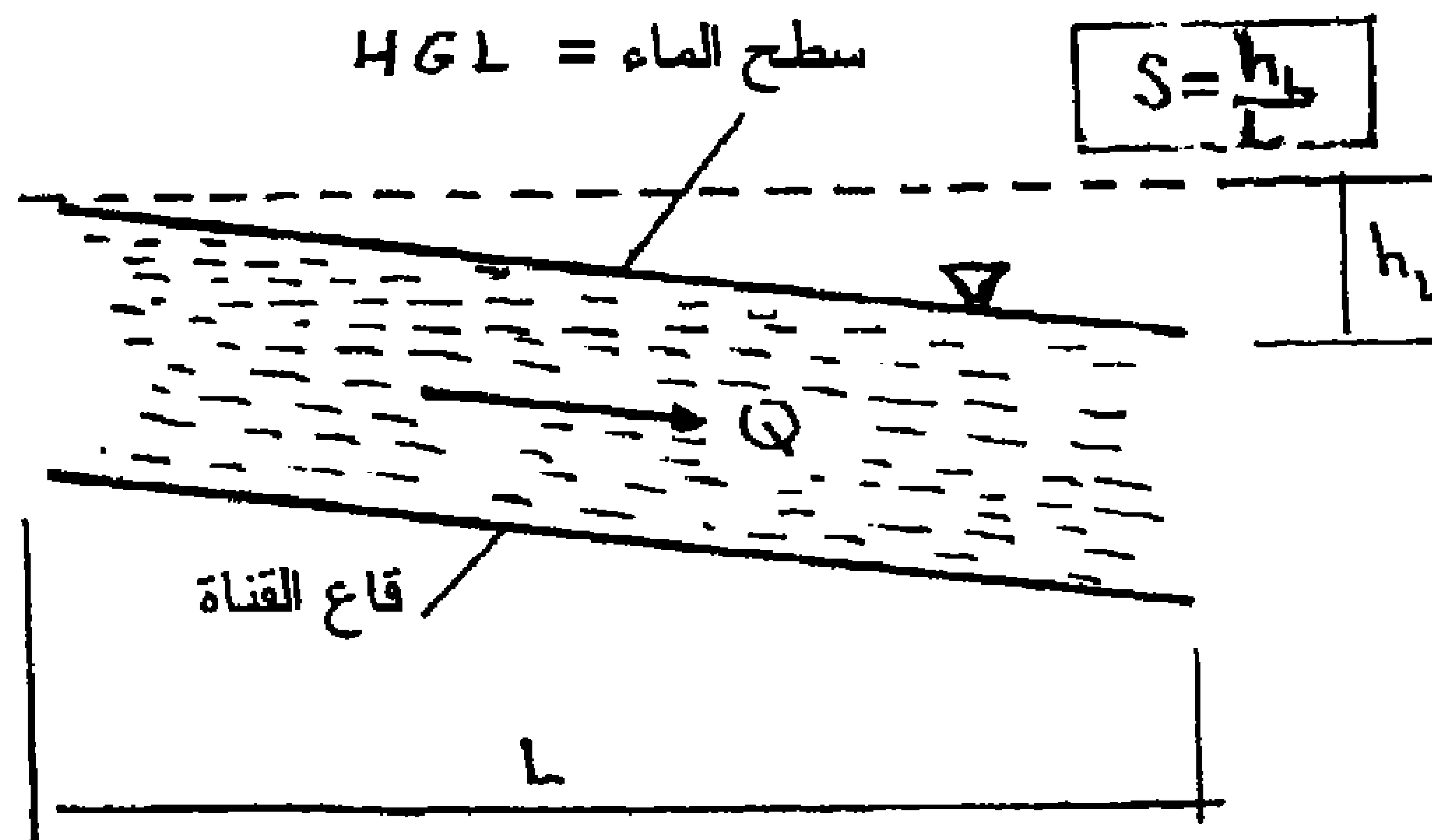
عدادات القياس المنزلية تسجل إجمالى حجم المياه الذى يمر خلالها. نوع آخر من العدادات للوصلات الصغيرة هو موجب الإذابة أو عداد القرص المنحنى (Nutating Disk Meter). فى هذه التجهيزة تمر المياه خلال غرفة صغيرة معلومة الحجم. عدد الدورانات على القرص، والتى تتناسب مع حجم الماء، تنقل إلى جهاز التسجيل. فى الإنشاءات الحديثة يمكن وضع المسجل الرقمى خارج المنزل لتسهيل قراءة العداد بواسطة مندوب مرفق المياه.

التدفق بالجاذبية فى المواسير : (Gravity Flow In Pipes)

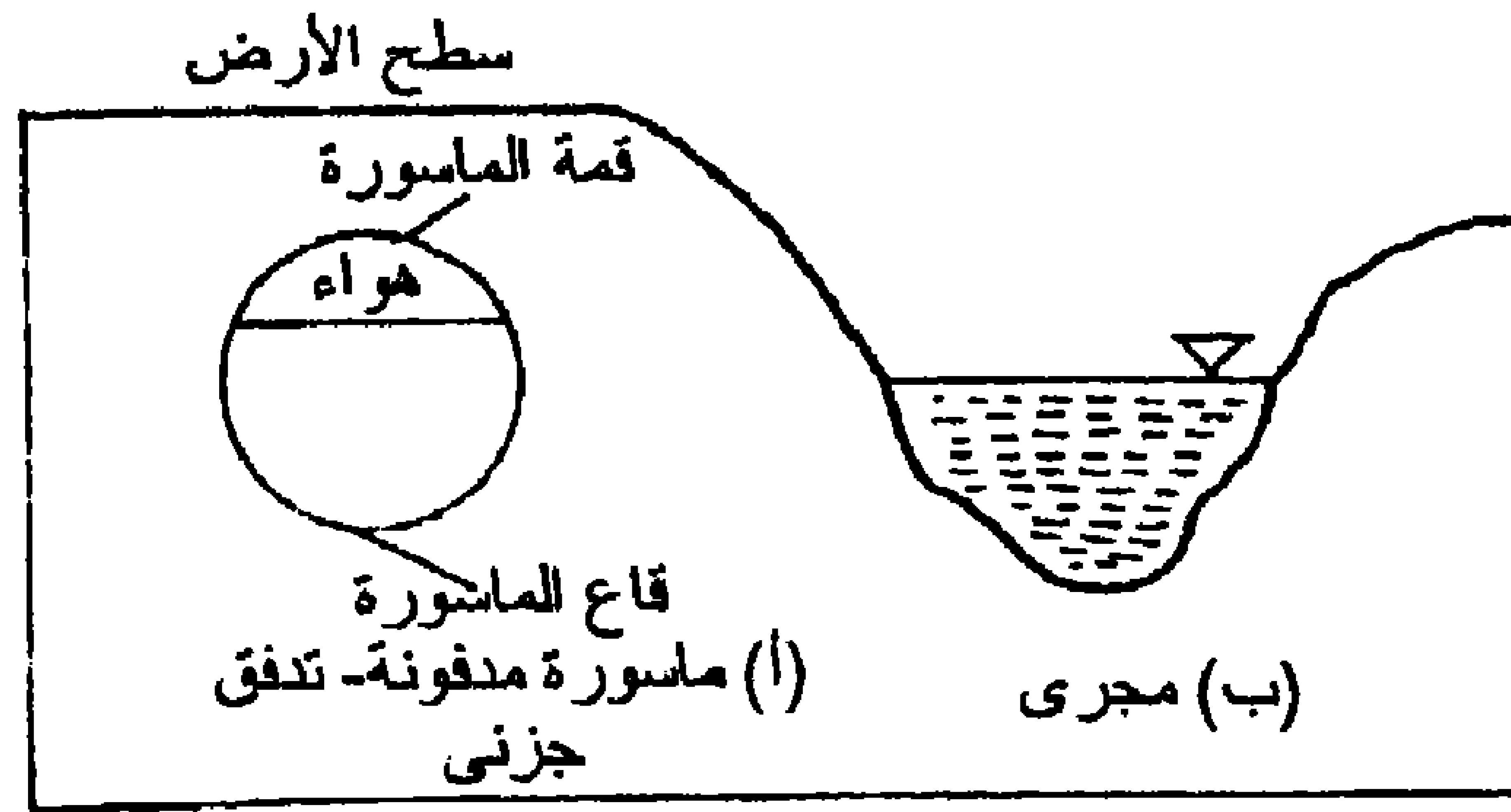
عند تدفق المياه فى ماسورة أو فى قناة ذات سطح حر معرض للجو، فإن هذا يسمى قناة مفتوحة أو تدفق بالجاذبية. الجاذبية توفر قوة الحركة، بينما الاحتكاك يعيق الحركة ويسبب فقد فى الطاقة. المجارى المائية والأنهار تتدفق فى قناة مفتوحة. كذلك فإن التدفق

لمياه الأمطار ومواسير الصرف الصحى هو كذلك تدفق فى قناة مفتوحة أى بالجاذبية، عدا فى حالة ضخ الماء خلال ماسورة تحت الضغط. فى معظم المسائل الروتينية فى تصميم أو فى تحليل نظم الصرف الصحى، فإنه يتم افتراض حالة تسمى التدفق الثابت المتجانس (Steady Uniform Flow). التدفق الثابت يعنى أن التصرف ثابت بالنسبة للوقت. التدفق المتجانس يعنى أن ميل سطح الماء ومساحة مقطع التدفق كذلك يكون ثابتا. طول المجرى، القناة أو خط المواسير الذى له ميل ثابت ومقطع ثابت نسبيا يسمى (Reach). فى حالة ثبات التدفق يكون ميل سطح الماء هو نفسه ميل قاع القناة. خط التدرج الهيدروليكى (Hydraulic Grade Line) (HGL) على طول سطح الماء، كما فى حالة مواسير التدفق بالضغط، يميل إلى أسفل فى اتجاه التدفق. الفقد فى الطاقة يكون واضحاً مع الهبوط فى ارتفاع سطح الماء. نموذج لشكل التدفق الثابت المنظم موضح فى الشكل (١/١٨). ميل سطح الماء يمثل معدل الفقد فى الضغط. يمكن التعبير عنه كنسبة الفقد فى الارتفاع للسطح إلى الطول.

نموذج لتدفق فى قناة مفتوحة موضح فى الشكل (١/١٩). فى الشكل (١/١٩-أ) الماسورة ممتلئة جزئيا فقط بالماء ويوجد سطح حر عند الضغط الجوى.



شكل (١/١٨) فى التدفق المنتظم للقناة المفتوحة يكون ميل سطح الماء أو خط الانحدار الهيدروليكى (HGL) مساويا لميل قاع القناة



شكل (١/١٩) أى تدفق يحدث مع سطح حر معرض للضغط الجوى هو تدفق القناة المفتوحة، سواء حدث فى مجرى سطحي أو فى ماسورة تحت سطح الأرض

يظل كذلك تدفق القناة المفتوحة حتى فى حالة الماسورة المقفلة تحت سطح الأرض. العامل الهام هو أن الجاذبية وليست المضخة هى التى تحرك الماء. قمة الماسورة تسمى (Crown) وقاع الماسورة يسمى (Invert). أحد الأهداف الرئيسية لتصميم خطوط مواسير الصرف الصحى هى بتوفير ارتفاعات مناسبة بالنسبة للقاع على طول خط المواسير. طول السطح المبتل لمقطع الماسورة أو المجرى يسمى المحيط المبلل. قطر القناة، وكذلك الميل، المحيط المبتل، هى عوامل هامة مرتبطة بطاقة التصرف.

معادلةماننج : (Manning's Formula)

المعادلة العادية لحل مسائل التدفق فى القناة المفتوحة تسمى معادلة مانينج وتكتب كالآتى :

$$Q = \frac{1 \text{ or } 1.5}{n} \times A \times R^{2/3} \times S^{1/2}$$

وهذه معادلة نتيجة التجارب. حيث :

Q = تصرف القناة متر مكعب/ الثانية (قدم مكعب/ الثانية)

1 = ثابت بالنسبة للوحدات المترية

1.5 = ثابت للوحدات الأمريكية

n = معامل الخشونة للقناة (لماننج)

A = مساحة مقطع التدفق متر مربع (قدم مربع)

R = نصف القطر الهيدروليكى للقناة متر (قدم)

S = ميل قاع القناة، بدون أبعاد.

يعرف نصف القطر الهيدروليكى للقناة بأنه النسبة ما بين مساحة التدفق إلى المحيط المبتل (P). فى المعادلة $R = \frac{A}{P}$.

معامل الخشونة يعتمد على المادة وعمرها للماسورة أو القناة المبطنة وعلى الظواهر الطبوغرافية لقاع المجرى الطبيعي. ويمكن أن يتراوح مابين ٠,٠١ للماسورة الناعمة من الطفلة حتى ٠,١ للمجرى الطبيعى الصغير. قيمة n عادة تفترض للمواسير الخرسانية أو القنوات المبطنة لتكون ٠,٠١٣ المثال الآتى يوضح استخدامات معادلة مانينج لقنـــاة ذات مقطع مستطيل.

مثال :

قناة صرف مستطيلة المقطع بعرض ٣ قدم ومبطنة بالخرسانة، كما هو موضح فـــى الشكل (١/٢٠). قاع القناة ينخفض ارتفاعه بمعدل ٠,٥ قدم كل ١٠٠ قدم. ما هو تصرف القناة عندما يكون عمق الماء ١,٥ متر؟ افترض n = ٠,٠١٣.

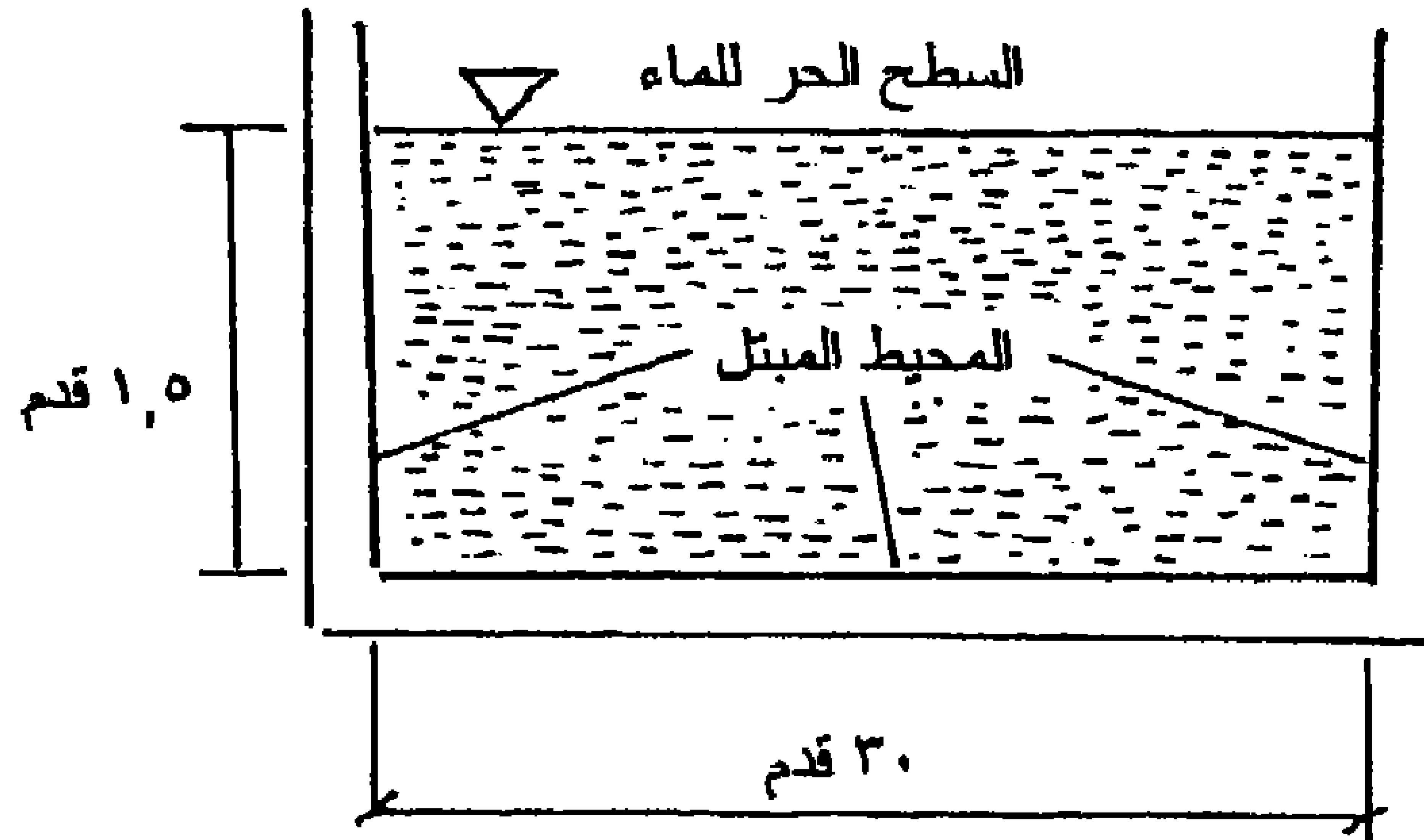
الحل :

حيث أن البيانات تستخدم الوحدات الأمريكية لذلك فإن الثابت المستخدم سيكون ١,٥. فى حالة الشكل (١/٢٠) مساحة مقطع التدفق A = ٣ قدم × ١,٥ قدم = ٤,٥ قدم مربـــع، المحيط المبتل P = ١,٥ قدم + ٣ قدم + ١,٥ قدم = ٦ قدم. القطر الهيـــدروليكى $R=\frac{A}{P}$ ٤,٥ قدم مربع ÷ ٦ قدم = ٠,٧٥ قدم. الميل S = ٠,٥ ÷ ١٠٠ = ٠,٠٠٥ .

باستخدام المعادلة

Q= ١,٥/٠,٠١٣ × ٤,٥ × (٠,٠٠٥)$^{١/٢}$ × (٠,٧٥)$^{٣/٢}$

= ٣٠ قدم مكعب فى الثانية تقريباً



شكل (١/٢٠) توضيح للمعادلة

للماسورة المستديرة الممتلئة بالتدفقات : Circular Pipe Flowing Full

معظم خطوط مواسير الصرف الصحى (وصرف مياه الأمطار) تكون ذات مقطع مستدير. بالإضافة إلى معامل الخشونة، فإن العوامل الهامة المتعلقة بالتصميم أو بتحليل خطوط المواسير هذه هو التصرف (Q)، سرعة التدفق (V)، وقطر الماسورة (D)، وميل الماسورة (S).

فى الماسورة المستديرة الحاملة للماء حتى تمام الملء إلى القمة (ولكن لازالت تحت الضغط الجوى والتدفق بالجاذبية)، فإن مساحة التدفق A هى $\frac{\pi D^2}{4}$، مساحة الماسورة. المحيط المبتل (P) هو محيط الماسورة أو (πD). حيث أن نصف القطر الهيدروليكى R هو A÷ P، لذلك

$$R = \frac{(\pi D^2)/A}{\pi D} = \frac{\pi D^2}{4} \times \frac{1}{\pi D} = \frac{D}{4}$$

فى حالة المواسير المستديرة التى تتدفق ممتلئة فإن معادلةماننج تأخذ عندئذ الشكل الآتى :

$$Q = \frac{1 \text{ or } 1.5}{n} = \frac{\pi D^2}{4} \times \left(\frac{D}{4}\right)^{2/3} x\, S^{1/2}$$

لقيمة n معطاة، فإن المطلوب يكون فقط قطر الماسورة والميل لحساب التصرف فى ماسورة مستديرة ممتلئة بالتدفقات. لتسهيل استخدام معادلة ماننج، وخاصة للمسائل الروتينية للمواسير المستديرة فإنه عادة تستخدم المخططات. المخطط لمعادلة ماننج

للمواسير المستديرة ذات التدفق الممتلئ حيث n = ٠,٠١٣ موضح فى الشكل (١/٢١). بالنسبة للمواسير ذات قيمة (n) تختلف عن ٠,٠١٣ يتم ببساطة ضرب قيمة (Q)، قيمة (V) من المخطط بنسبة ٠,٠١٣ إلى قيمة (n) الحقيقية.

لاستخدام المخطط، يجب معرفة اثنين من بين المتغيرات الأربعة (V , Q, S , D). بوضع مسطرة ذات طرف مستقيم على قيمتين معلومتين، فإنه ستتقاطع مع المتغيرين الآخرين على محاورهما. استخدام مخططماننج موضح فى المثال التالى.

مثال :

خط مواسير بقطر ١٢ بوصة أنشئ بميل ١%. بفرض n = ٠,٠١٣ عين طاقة التصرف لخط المواسير عند التدفق الممتلئ. ما هى سرعة التدفق؟

الحل :

عين مكان قيمة القطر D = ١٢ بوصة، الميل S = ٠,٠١ على المخطط فى الشكل (١/٢١). يتم قراءة قيمة Q = ١٥٨٠ جالون فى الدقيقة وقيمة ٤,٦ قدم فى الثانية للسرعة.

باستخدام معادلة ماننج يتم مراجعة دقة المخطط كالآتى :

$$Q = \frac{1}{0.13} = \frac{\pi \times 1^2}{4} \times \left(\frac{1}{4}\right)^{2/3} x\ (0.01)^{1/2}$$

= 3.6 CFS

Q = ٣,٦ قدم مكعب فى الثانية × ٧,٤٨ جالون/قدم مكعب × ٦٠ ثانية فى الدقيقة = ١٦٠٠ جالون فى الدقيقة

و

$$V = Q/A = \frac{3.6}{(\pi \times I^2)/4} = 4.6\ \text{ft/Sec}$$

هذه القيم تتطابق تماماً مع نتائج المخطط.

مثال :

ماسورة تجميع مياه الأمطار بقطر ٤٥٠ مليمتر أنشئت بميل هيدروليكى ٢%. ما هى طاقة التصرف وسرعة التدفق عندما تكون الماسورة ممتلئة؟

الحل :

باستخدام معادلة مانينج :

$$Q = \frac{1}{0.13} = \frac{\pi \times (0.45)^2}{4} \times \left(\frac{0.45}{4}\right)^{2/3} \times (0.02^{1/2}$$

$= 0.4\ m^3/S$

$$V = \frac{Q}{A} = \frac{0.4}{\pi \times (0.45)^{2/4}} = 2.5\ m/s$$

مثال :

ما هو قطر الماسورة لحمل تدفق الذروة لا يقل عن ٥٠٠ لتر فى الثانية على تـدرج ٠,٢٥%؟

الحل :

أولا: يتم تحويل التدفق إلى المتر المكعب فى الثانية

$Q = 500\ L/S \times 1m^2/1000L = 0.5m^3/S$

يتم تعليم Q = ٠,٥ متر مكعب فى الثانية، الميـل = ٠,٠٢٥% أو ٠,٠٠٢٥ علـى المحاور المناسبة على المخطط شكل (١/٢١). الحل يتم الحصول عليه على محور القطر هو حوالى ٧٥سم أو ٧٥٠ مليمتر.

عمليا يتم اختيار أكبر قطر تالى قياسى للماسورة.

Manning Formula
Pipe Flow Chart
American/SI units

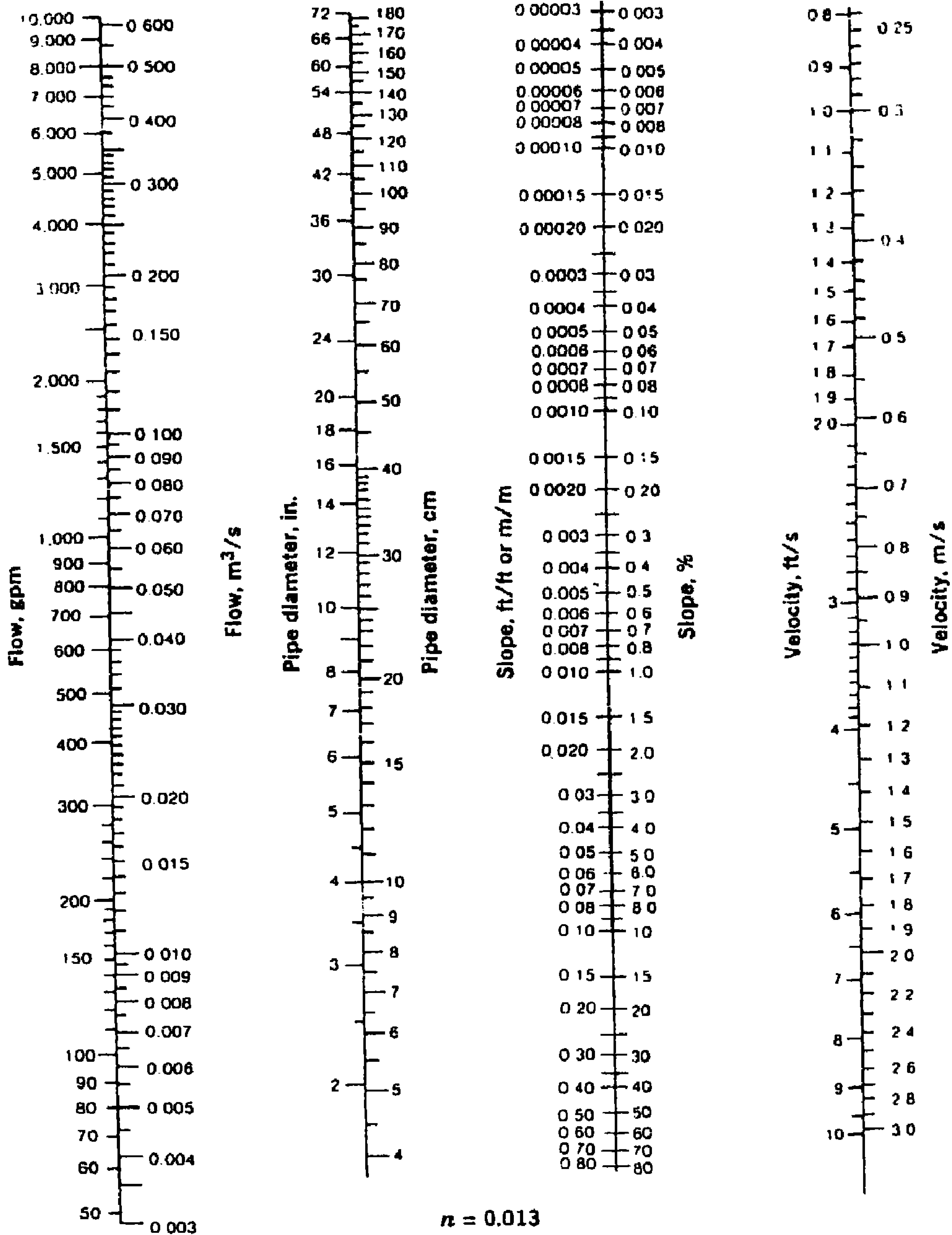


Chart based on the formula $Q = \frac{1.0 \text{ or } 1.5}{n} \times AR^{\frac{2}{3}} \times S^{\frac{1}{2}}$ for pipe flowing full.

شكل (١/٢١) مخطط مانينج للمواسير المستديرة عند التدفق ممتلئة، n = ٠,٠١٣. تستخدم معادلة مانينج للقناة المفتوحة أو التدفق بالجاذبية، بينما معادلة هازن- وليام تستخدم للتدفق تحت الضغط.

مثال :

على أى ميل يتم إنشاء خط مواسير صرف صحى بقطر ١٦ بوصة فى حالة حمله مالا يقل عن ٧٥٠ جالون فى الدقيقة بسرعة لا تقل عن ٢ قدم فى الثانية؟

الحل :

أولا يتم تعيين D = ١٦ بوصة، Q = ٧٥٠ جالون فى الدقيقة على مخططماننج، يتم قراءة S = ٠,٠٠٠٤٨. ولكن عند هذا الميل تكون السرعة حوالى V = ١,٢ قدم فى الثانية، والتى هى أقل من أدنى سرعة مسموح بها والتى هى ٢ قدم فى الثانية. يكون من الضرورى زيادة الميل لزيادة سرعة التدفق.

حدد D = ١٦، V = ٢ على المخطط. اقرأ S = ٠,٠٠١٤ أو ٠,١٤%. لاحظ أن طاقة التصرف الحقيقية للماسورة ١٦ بوصة الممتلئة عند هذا الميل هو Q = ١٢٥٠ جالون فى الدقيقة. فى هذه المسألة، أدنى سرعة مطلوبة هى العامل الحاكم. إذا كان معدل التدفق ٧٥٠ جالون فى الدقيقة، فإن الماسورة يكون التدفق فيها ممتلئ جزئياً.

التدفق الجزئى فى المواسير : (Partial Flow In Pipes)

فى معظم الأوقات يكون التدفق فى خطوط مواسير الصرف بالجاذبية ممتلئ جزئياً. السطح الحر للماء يكون عادة أسفل قمة الماسورة. هذه الحالة موضحة فى الشكل (١/١٩-أ). هيدروليكا التدفق الجزئى يمكن حلها مباشرة باستخدام معادلة ماننج، ولكن من المناسب استخدام مخطط التدفق الجزئى الموضح فى الشكل (١/٢٢). هذا المخطط يراعى فيه تغيرات القطر الهيدروليكى مع العمق، والذى بخلاف ذلك يحتاج لحسابات كثيرة. المثال الآتى يوضح الاستخدام.

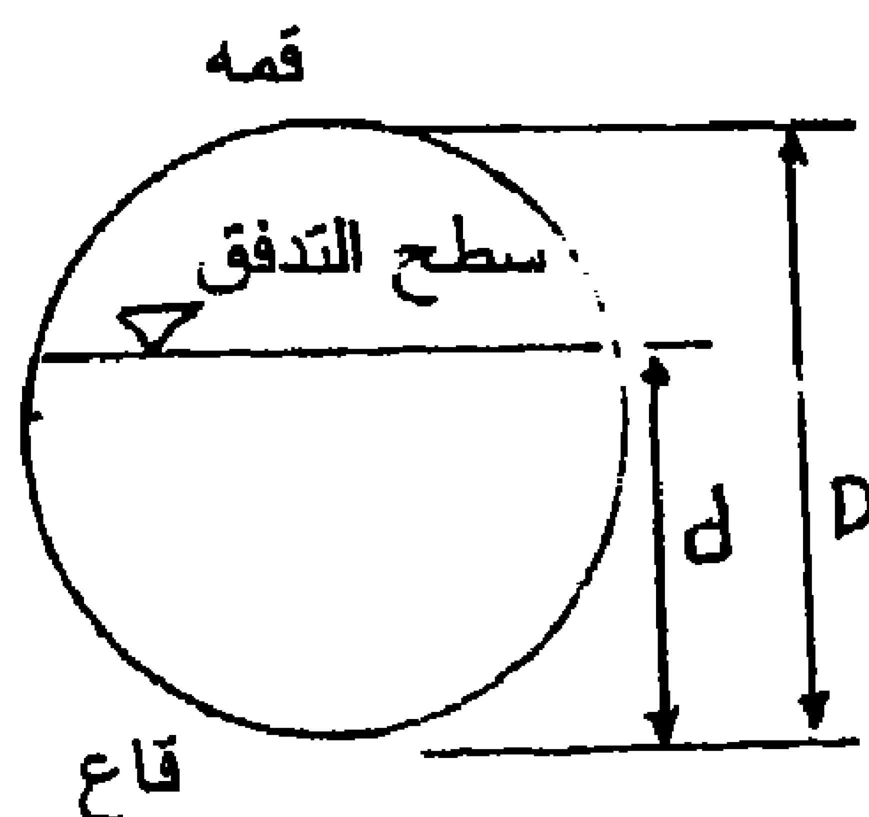
مثال :

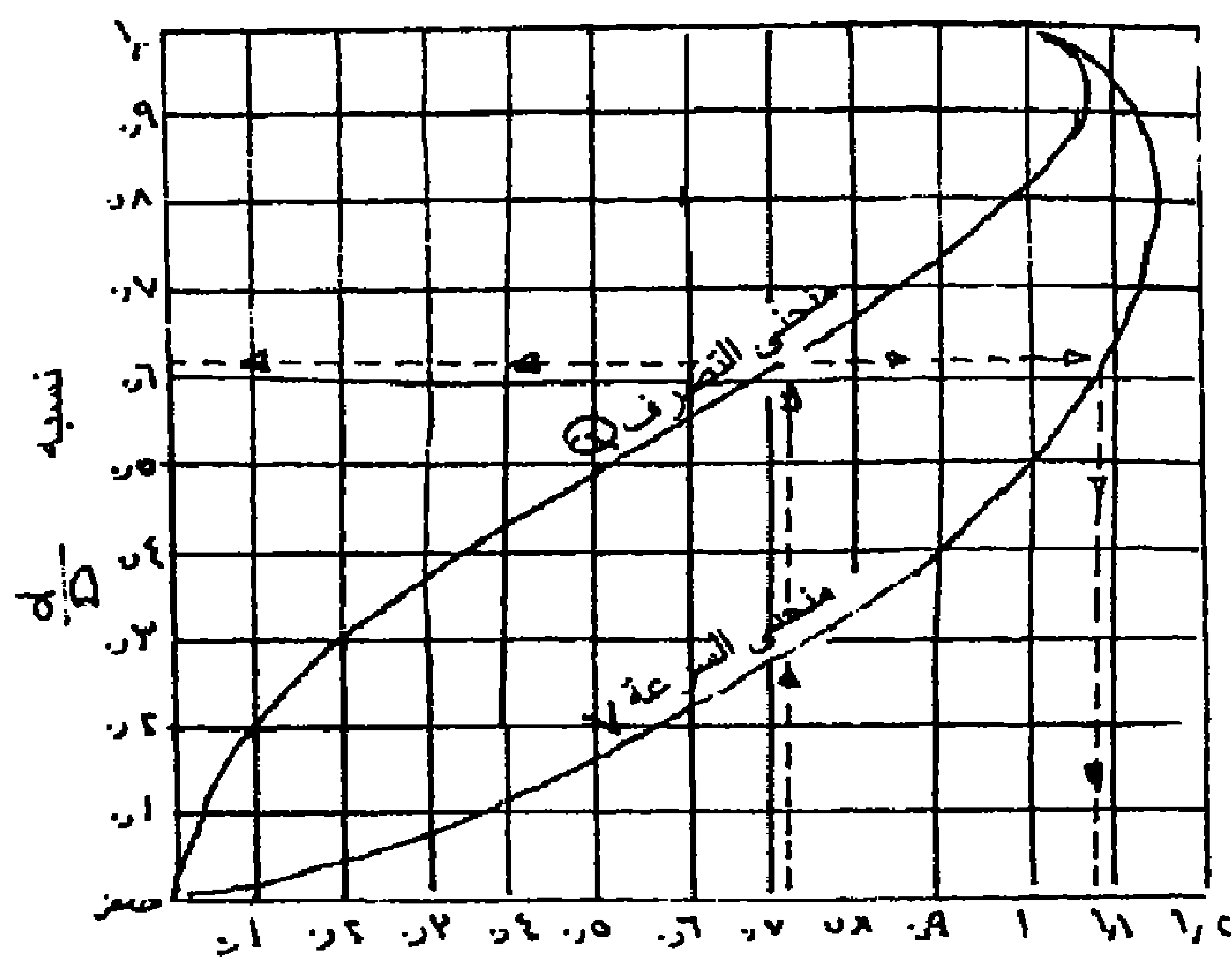
ماسورة بقطر ٣٠٠٠ مليمتر أنشئت بميل S = ٠,٠٢. ما هو عمق التدفق فى الماسورة عندما تحمل ٩٦ لتراً فى الثانية؟ وما هى سرعة التدفق عند هذا العمق؟

الحل :

أولاً، باستخدام مخطط ماننج، وجد أن ماسورة ٣٠٠ مليمتر أو ٣٠ سنتيمتر على ميل ٠,٠٢ تحمل Q = ٠,١٣٥ متر مكعب فى الثانية. = ١٣٥ لتر فى الثانية = ١٣٥ لتر فى

الثانية عند التدفق وهى ممتلئة (هى الحالة التى مبنى عليها المخطـط). سـرعة التـدفق الممتلئ V = ١,٩ متر فى الثانية.





$\frac{V}{v} = \frac{a}{Q}$ نسبه

d = العمق الجزئى

D = العمق الكلى لقطر الماسورة.

q = الصرف الجزئى

Q = تصرف التدفق الممتلئ

v = سرعة الملئ الجزئ.

V = سرعة الملئ الكلى

شكل (١/٢٢) مخطط التدفق الجزئى لماسورة مستديرة التى تحمل حيث سطح الماء أسفل قمة الماسورة

التصرف تحت حالات التصرف الجزئى هو q = ٩٦ لتر فى الثانية، نسبة التدفق الجزئى إلى التدفق الممتلئ هى ٩٦ ÷ ١٣٥ = ٠,٧١ الآن يتم الدخول إلى مخطط التدفق الجزئى شكل (١/٢٢) على المحور الأفقى X حيث Q/q = ٠,٧١ تحرك إلى أعلا فى شكل مستقيم حتى التقاطع مع منحنى التصرف Q، من هذه النقطة على المنحنى Q، تحرك أفقيا نحو اليسار واقرأ D/d= ٠,٦٢ حيث أن D = ٣٠٠ ملميتر، يتم الحل للعمق الجزئى كالآتى :

d/٣٠٠ = ٠,٦٢، d = ٣٠٠ × ٠,٦٢ = ١٨٦ مليمتر لحساب السرعة عند عمق التدفق، يتم الدخول ثانياً إلى الشكل (١/٢٢) على المحور الرأسى (المحور y) مع D/d = ٠,٦٢ تم التحرك أفقياً نحو اليمين للتقاطع مع منحنى السرعة "V"، من هذه النقطة على المنحنى V، تحرك إلى أسفل باستقامة واقرأ V/v = ١,٠٨ على المحور الأفقى. حيث أن سرعة التدفق الممتلئ = ٢سم/ث، يتم حساب سرعة التدفق الجزئى كالآتى:

v/1.9 = 1.08 and v = 1.9 x 1.08 = 2.1m/S

لاحظ أن سرعة التدفق الجزئى هى أكبر من سرعة التدفق فى حالة التدفق الممتلئ. كما يمكن ملاحظته من الشكل (١/٢٢) يوجد مجال للأعماق التى عندها التصرف وكذلك السرعة تزيد عن قيم العمق الممتلئ.

أقصى سرعة فى الماسورة تحدث عندما يكون العمق ٨٢% من القطر، وأقصى تصرف يحدث عندما يكون العمق ٩٣% من قطر الماسورة. السبب الأساسى فى هذا هو إنخفاض الاحتكاك عند جدار الماسورة ،عند الأعماق الضحلة، تكون مساحة التدفق الأصغر خارج تأثير انخفاض الاحتكاك، وتنخفض نسبة التصرف إلى أقل من واحد.

مثال :

ما هى أقصى طاقة تصرف ممكنة لماسورة بقطر ٩٠٠ مليمتر أنشئت بميل ٠,١%؟

الحل :

من مخططماننج قيمة التدفق الكلى الممتلئ هو Q = ٥٥٠ لتر فى الثانية.

من مخطط التدفق الجزئى يحدث أقصى تصرف عندما يكون D/d = ٠,٩٣، وعند هذا العمق ، Q/q = ١,٠٨. لذلك أقصى تصرف q = ١,٠٨ × ٥٥٠ = ٥٩٠ لتر فى الثانية. ويحدث عند عمق d = ٩٠٠ × ٠,٩٣ = ٨٤٠ مليمتر.

مثال :

خط مواسير صرف صحي بقطر ١٨ بوصة، ينخفض ارتفاعه ١,٨ قدم كل مساحة ٤٠٠ قدم. عين التصرف والسرعة في الماسورة عندما يكون عمق التصرف ٦ بوصة.

الحل :

الميل S = ١,٦ ÷ ٤٠٠ = ٠,٠٠٤ باستخدام مخططماننج، يمكن الحصول على قيمة Q = ٢٩٠٠ جالون في الدقيقة، السرعة V = ٣,٨ قدم في الثانية. نسبة التدفق الجزئي هي ٦÷١٨ = ٠,٣٣، من مخطط التدفق الجزئي Q/q = ٠,٢٢، V/v = ٠,٨٢. لذلك q = Q × ٠,٢٢ = ٢٩٠٠ × ٠,٢٢ = ٦٤٠ جالون في الدقيقة، v = V × ٠,٨٢ = ٣,٨ × ٠,٨٢ = ٣,١ قدم في الثانية.

قياس التدفق في القناة المفتوحة : Open Channel Flow Measurement

الطرقة التقريبية والبسيطة جداً لتعيين تصرف القناة المفتوحة هي بقياس السرعة لغرض طافي يتحرك في إتجاه مستقيم منتظم للقناة. إذا كان المقطع الهندسي معروفاً وتم قياس عمق التدفق، عندئذ فإن مساحة التدفق يمكن حسابها. من العلاقة Q = V × A، التصرف Q يمكن تقديره.

هذه طريقة مفيدة للحصول على تقدير لمعدل التدفق كجزء من الدراسة الأولية الميدانية، ولكن ليس من المناسب للقياسات الروتينية. متوسط السرعة للتدفق يتم تقريبها بالفترة الزمنية لمرور الغرض الطافي على طول المقاس للقناة.

مثال :

تم وضع غرض طافي على سطح مياه متدفقة في قناة مياه الأمطار وتم الملاحظة لمسافة الرحلة لمسافة ١٠ متر تحت التيار في زمن قدره ٢٠ ثانية. القناة بعرض ١,٥ متر، ومتوسط العمق حوالي ٠,٥ متر. احسب التصرف في هذه الظروف..

الحل :

يتم حساب السرعة بالنسبة للمسافة والوقت

V = D ÷ T = ١٠ متر ÷ ٢٠ ثانية = ٠,٥ متر في الثانية.

مساحة القناة A = ١,٥ × ٠,٥ متر = ٠,٧٥ متر مربع

التصرف Q = A × V = ٠,٨٥ متر مربع × ٠,٥ متر/ الثانية

= ٠,٣٨ متر مكعب في الثانية.

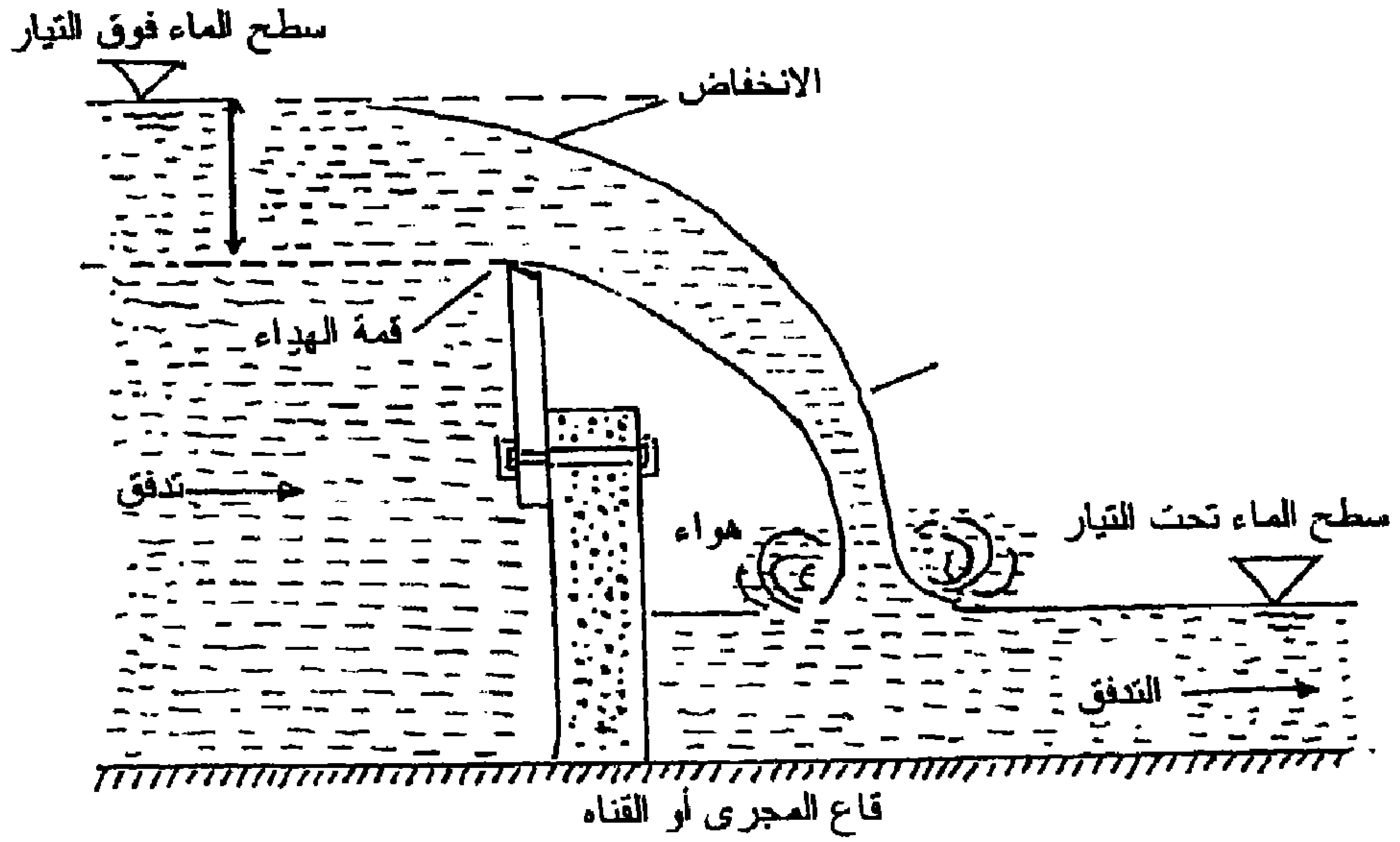
الهدارات : (Weirs)

التجهيزة المستخدمة على نطاق واسع لقياس التدفق فى القناة المفتوحة هى الهدار ذو القمة الحادة (Sharp - Crested0). الهدار هو فى بساطة عبارة عن سد أو إعاقة موضوع فى القناة بحيث أن الماء يصعد خلفه ثم يتدفق من فوقه. القمة الحادة أو الطــرف الحــاد يسمح للماء بالصعود صافياً على سطح الهدار والسقوط بحرية فى شكل زغب كما هــو موضح فى الشكل (١/٢٣).

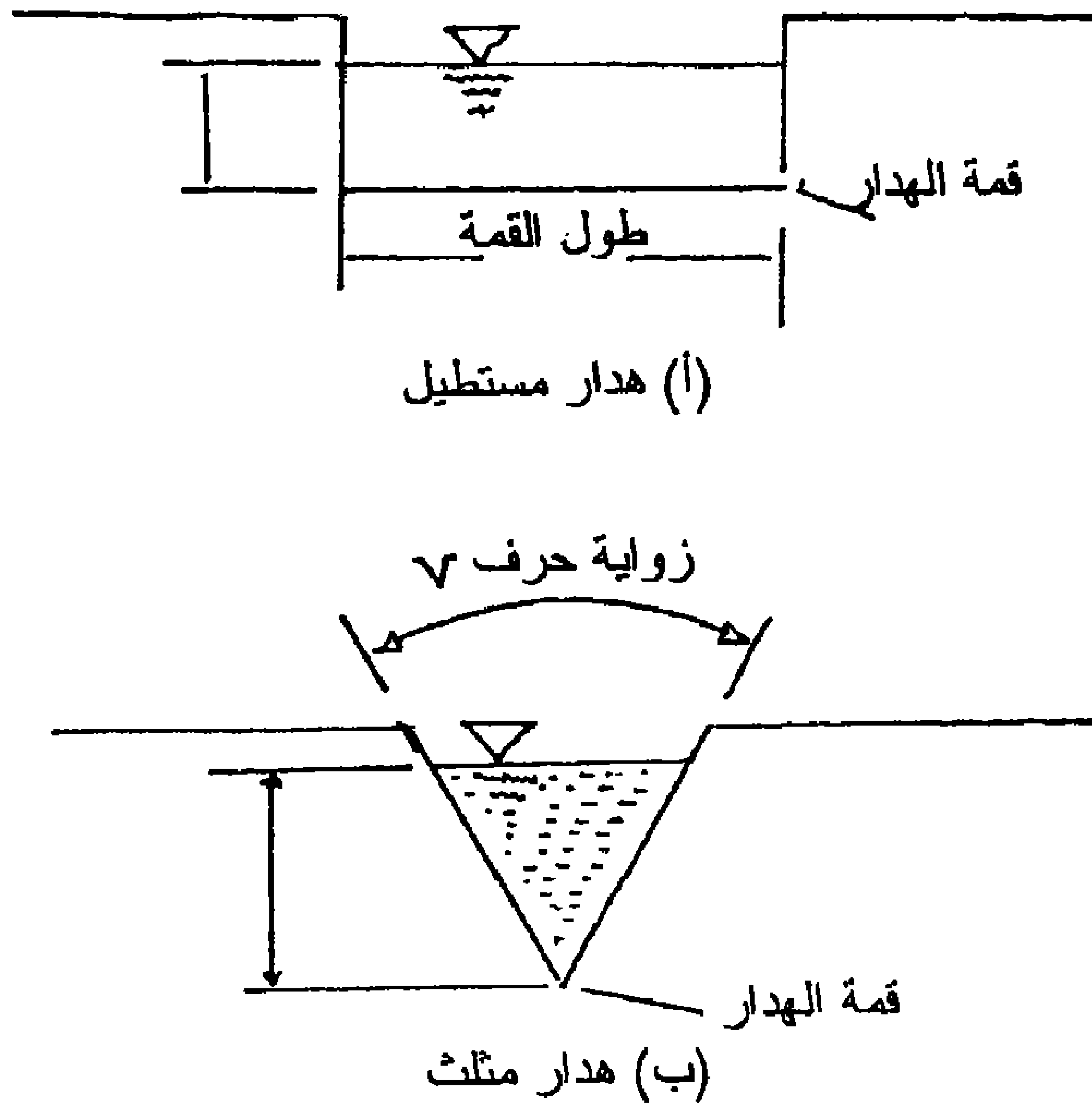
عند سقوط الماء بحرية فى الهواء، فإنه توجد علاقة هيدروليكية بــين الارتفــاع أو عمق الماء المتدفق فوق حد الهدار ومعدل التدفق. هذا الارتفاع، المسافة العموديــة بــين الحد وسطح الماء تسمى الضغط (The Head) على الهدار، يمكن قياسه مباشرة بالمتر أو آليا بتجهيزة تعمل بالطفو والتسجيل. ارتفاع الماء على الهدار (الــضغط – Head) يــتم قياسه من مسافة قصيرة فوق التيار الهدار لتجنب التأثير على انخفاض السطح عند مرور التدفق فوق حد الهدار.

جزء لوح الهدار الذى يتدفق الماء من فوقه يمكن أن يكون له واحد من عدة أشــكال مختلفة، طبقا للاستخدام المعين، الأشكال الأكثر استخداماً هى المــستطيلة، المثلثــة، ذات الشكل شبه المنحرف. الهدار المنكمش المستطيل هو الذى لا يمتد عبر كل العرض للقناة، كما هو موضح فى الشكل (١/٢٤–أ). الهدارات المستطيلة تسمى كذلك هدارات الفتحة V (V- Notch)، حيث يمكن أن تكون زوايا الفتحة المثلثة ما بــين ٢٢° إلــى ٩٠°، ولكــن الفتحات ذات الزاوية القائمة هى الأكثر استخداماً، وهذا موضح فى الشكل (١/٢٤–ب).

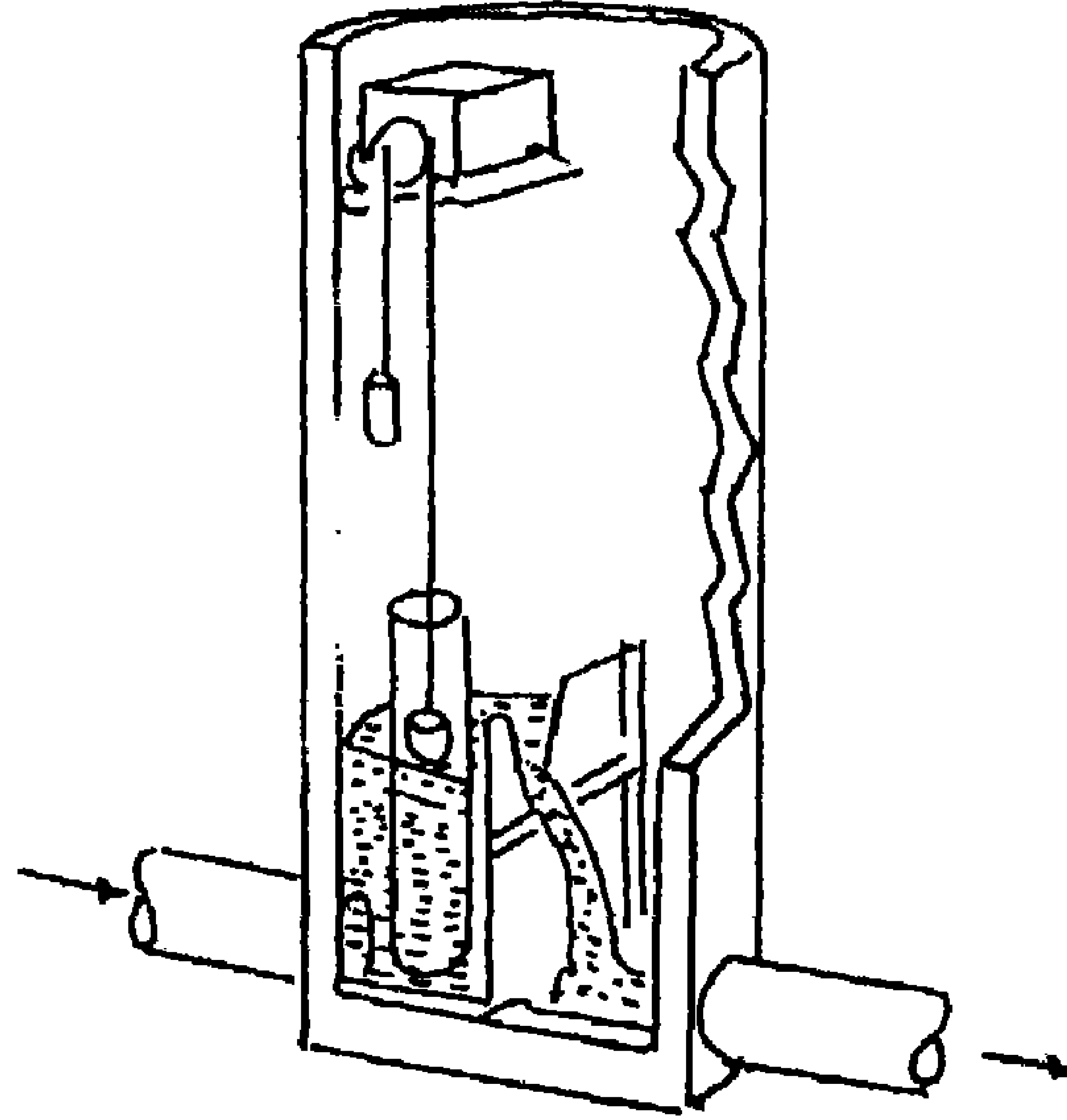
الهدار بالفتحة V يوفر القياس الدقيق للتصرفات المنخفضة أكثر من الهدار المستطيل أو شبه المنحرف. وهذه تستخدم عادة فى محطات معالجة الصرف الــصحى الــصغيرة لرصد معدل التدفق لمياه الصرف المعالج. هدارات الفتحة V يمكن أن يتم إيلاجهــا فــى خطوط الصرف الصحى لقياس التصرفات. هذه الهدارات تصنع لتناسب مجالات كثيــرة من أقطار المواسير كما يمكن أن تعلق فى نهاية الماسورة فى غرفة التفتيش، معدل التدفق يمكن قراءته مباشرة من تدريج معاير على لوح الهدار. بالنسبة لخطوط مواسير الصرف الأكبر، أو عندما يكون المطلوب بيانات عن التدفق المستمر خلال ٢٤ ساعة، فإنه يمكن وضع هدار مؤقت فى غرفة التفتيش. المنشأ الذى يشمل التسجيل الآلى للمنسوب موضح فى الشكل (١/٢٥). عيوب هذا النوع من أجهزة القياس هو أنه فى حالة استخدامها فــى نظم الصرف الصحى فإن المواد الصلبة ترسب وتتراكم خلف لوح الهدار.



شكل (١/٢٣) منظر جانبى لقمة هدار حادة، تجهيزة بسيطة تستخدم فى قياس تدفق المجرى أو القناة المفتوحة.



شكل (١/٢٤) أشكال الهدارات المستخدمة عادة (أ) الهدار المستطيل، (ب) الهدار المثلث فى شكل حرف V



شكل (١/٢٥) إنشاء هدار مؤقت لقياس التدفق فى مطبق صرف صحى

يوجد كثير من المعادلات، الجداول، المخططات فى كتب الهيدروليكا التى تربط بين التصرف وارتفاع الماء على الهدار. معادلة بسيطة للهدار حرف V بزاوية ٩٠° هى:

$$Q = 2.5 \times H^{2.5}$$

حيث Q = التصرف قدم مكعب/ الثانية

H = الارتفاع على الهدار بالقدم

مثال :

أحسب التصرف بالمتر / الثانية على هدار ٩٠° حرف V عندما يكون ارتفاع الماء H = ١٠٠ مليمتر.

الحل :

من الضرورى استخدام بعض معاملات التحويل فى هذه المسألة، حيث أن المعادلة المذكورة $Q = 2.5 \times H^{2.5}$ تستخدم فقط للوحدات الأمريكية. لذلك

١٠٠ مليمتر × ١ بوصة / ٢٥,٤ مليمتر × ١ قدمم ١٢ بوصة = ٠,٣٣ قدم

باستخدام المعادلة السابقة

$$Q = 2.5 \times (0.33)^{2.5}$$
$$= 0.156\ ft^3/sec$$

$Q = 0.156\ ft/sec \times 28.32\ L/ft^2$

$= 4.4\ litre/sec.$

المعادلة المستخدمة لحساب تدفقات الصرف فوق الهدار الشبه منحرف حيث الأجناب ذات ميل منحدر هى

$$Q = 3.4 \times b \times h^{1.5}$$

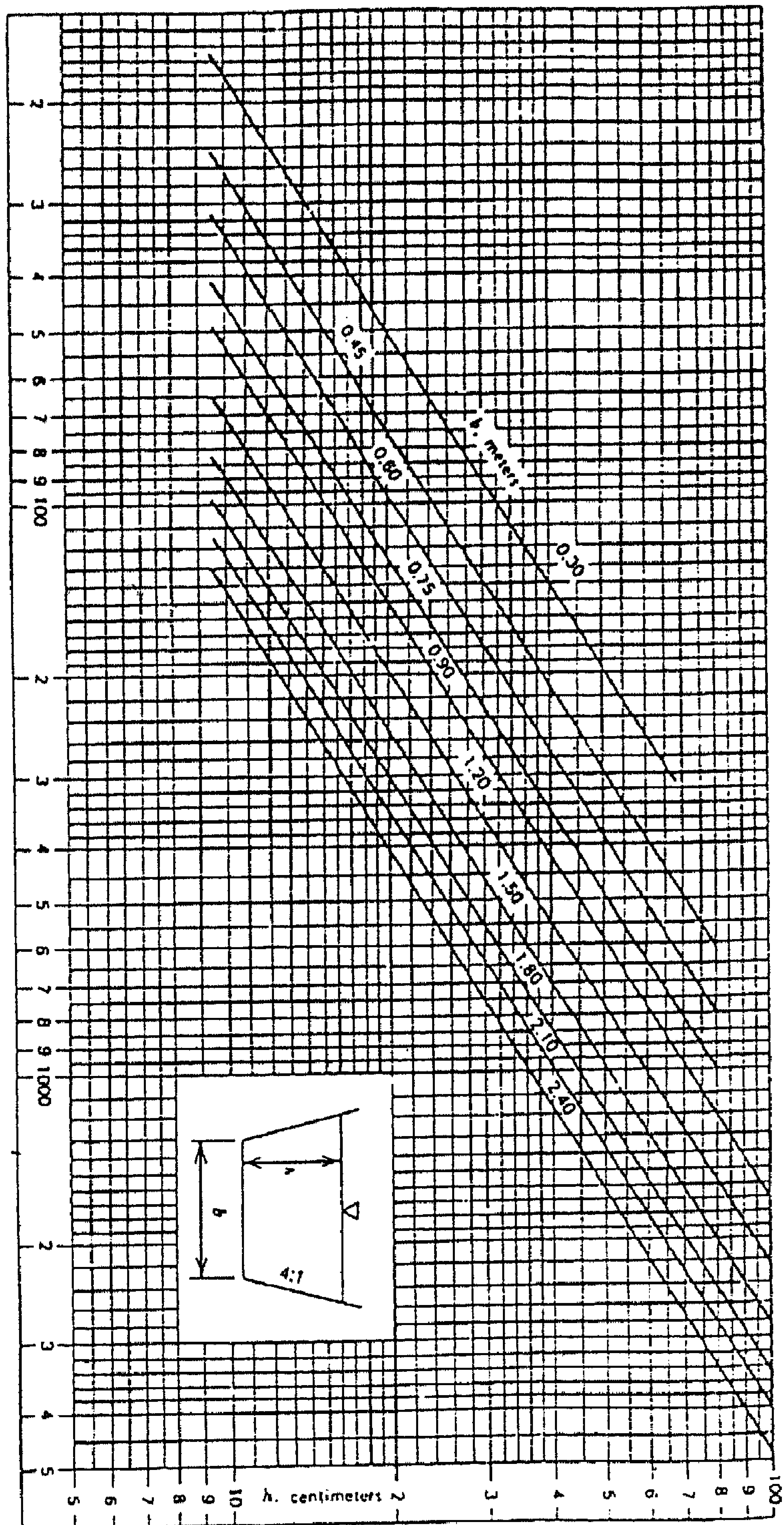
حيث :

Q = التصرف قدم مكعب فى الثانية

b = عرض القاع للهدار بالقدم.

h = ارتفاع الماء على الهدار بالقدم.

مخطط للحل يمكن استخدامه كما هو موضح فى الشكل (١/٢٦).



شكل (١/٢٦) مخطط التصرف لهدرات سيبوليتى

مثال :

قدر التصرف المتدفق خلال هدار شبه المنحرف بقاعدة ١٨ بوصة عندما يكون ارتفاع الماء ٩ بوصة.

الحل :

باستخدام معادلة $Q = 3.4 \times b \times h^{1.5}$ بعد تحول الوحدات من البوصة إلى القدم، نحصل على :

$Q = 3.4 \times 1.5 \times 0.75^{1.5}$

$= 3.3\ ft^3/sec$

بعد التحويل من البوصات إلى الوحدات المترية، قارن هذه النتيجة مع تلك من الشكل (١/٢٦).

١٨ بوصة = ١,٥ قدم × ٠,٣٠٤٨ = ٠,٤٦ متر

٩ بوصة × ٢,٥٤ سم/ البوصة = ٢٣سم.

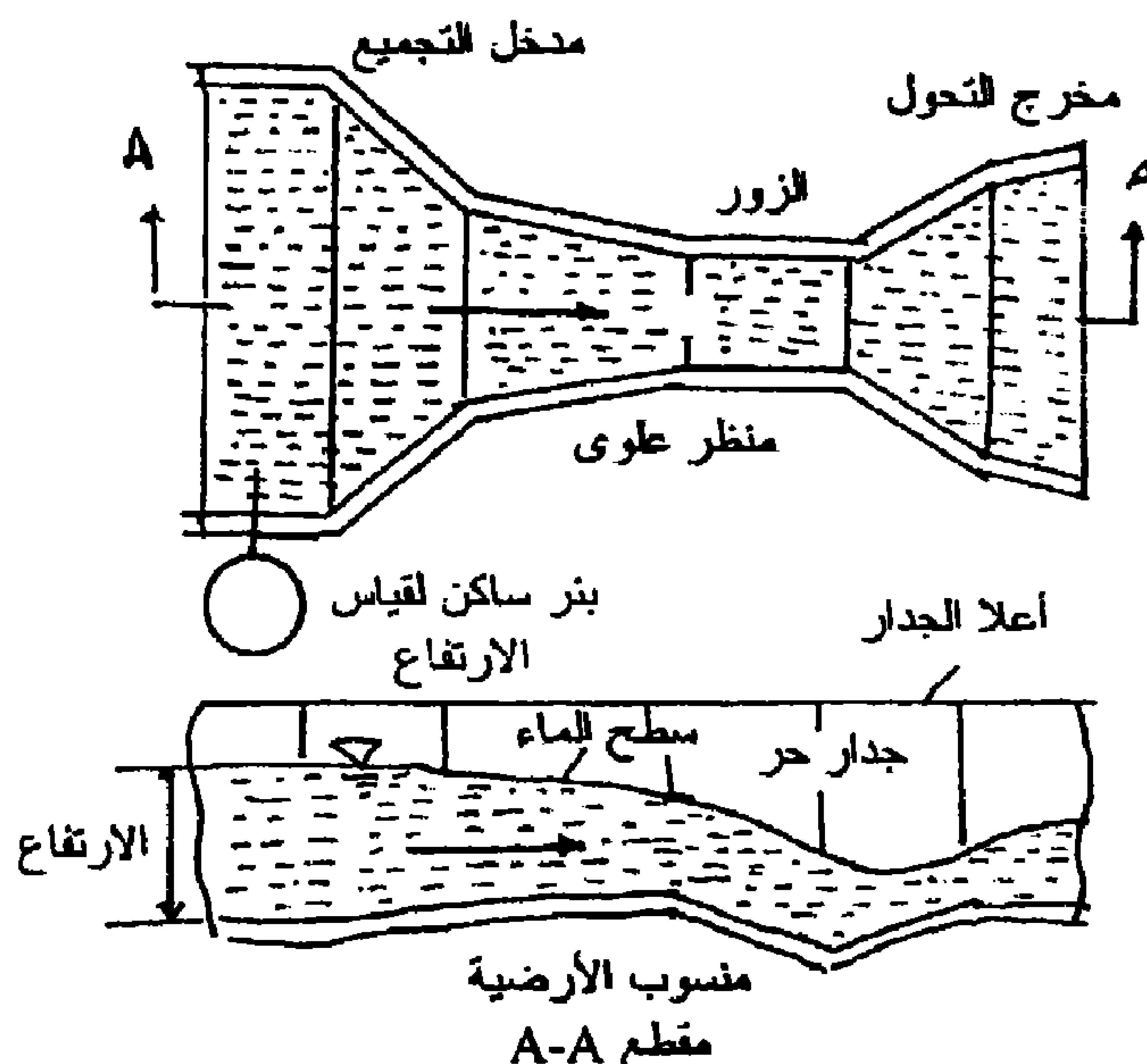
باستخدام المخطط حيث h = ٢٣سم على اليمين، مع التحرك نحو اليسار إلى خط الميل معلم ٠,٤٥، ثم إلى اسفل نحو محور Q، نحصل على تصرف حوالى ٩٠ لتر/ث والذى يعادل حوالى ٤٣,٢ قدم مكعب/ث. لاحظ أن الحسابات من هذا النوع هى تقريبية.

المسيل أو مجرى المياه الصناعى : (Flume)

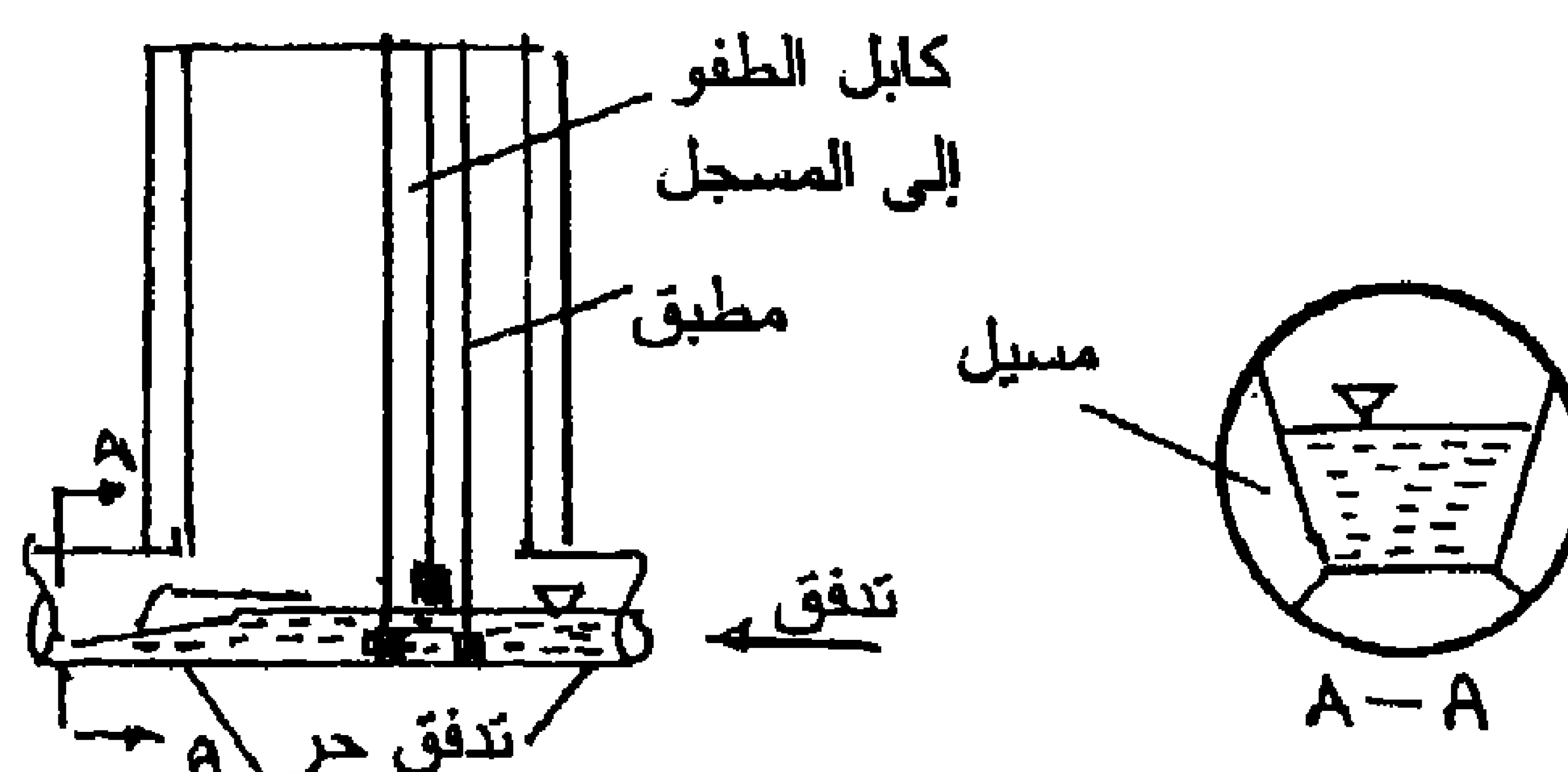
المسيل هو مقطع فى شكل اختناق فى القناة المفتوحة (مثل أنبوبة الفنشورى فى ماسورة الضغط). الشكل الهندسى للمسيل يسبب حالة من السقوط الحر فى القناة (Free - Fall)، والتى تسمح بعمل علاقة ما بين التصرف وعمق التدفق. رغم أن هذه المسيلات أكثر تكلفة بالنسبة لإنشائها مقارنة بالهدارات، إلا أن المسيلات توفر ميزة النظافة الذاتية والتى تمنع ترسيب المواد الصلبة فى السائل. كذلك يوجد قليل من الفقد فى الضغط ولا يوجد ارتفاع للسائل فوق تيار جهاز القياس.

أحد المسيلات المستخدمة لقياس التدفق المستمر للصرف الصحى هو ميل بارشال (Parshall flume)، الموضح فى الشكل (١/٢٧). فى حالة القنوات الصغيرة يمكن إنشاء مسيلات سابقة التجهيز من الصوف الزجاجى ولكن فى حالة النظم الكبيرة يتم إنشاء المسيلات من الخرسانة التى يتم صبها فى المكان.

يمكن استخدام عدة جداول أو مخططات للعلاقة ما بين منسوب المياه فـــى المــسيل ومعدل التدفق. عادة تجهيزات التسجيل الآلية توفر التسجيل المستمر للتــصرف بمجــرد معايرة الجهاز مع الميل وتجهيزة إحساس المنسوب. نوع آخر من المسيل يسمى مــسيل بالمر بولاس (Palmer -= Bowls Flume)، يمكن وضـعه فى قناة مستديرة أو خط مواسير كما هو موضح فى الشكل (١/٢٨)



شكل (١/٢٧) يستخدم مسيل بارشال لقياس معدل التدفق فى قناة مفتوحة الحاملة لمياه الصرف الصحى، التصرف له علاقة بارتفاع أوعمق الماء فوق التيار مباشرة لمقطع اختناق المسيل



شكل (١/٢٨) مسيل بالمربولاس

التدفق الغير منتظم للقناة المفتوحة : Non uniform open Channel Flow

فى البنود السابقة تم التركيز على التدفق المنتظم بالجاذبية، أساسا فى المواسير المستديرة. يوجد كثير من التطبيقات لهيدروليكا التدفق للقنوات المفتوحة فى تكنولوجيا البيئة. تدفق القناة المفتوحة الذى ليس دائما منتظما مع الوقت أو متجانسا فى مساحة المقطع كثيرا ما يتم وجوده. مثل هذا التدفق المتغير بالتدريج يحدث فى المجارى الطبيعية والأنهار وكذلك فى نظم الصرف الصحى وصرف مياه الأمطار. المبادئ الطبيعية والطرق الرياضية اللازمة للتحليل الكامل لمسائل التدفقات الغير منتظمة متاحة فى المراجع الهندسية. وسوف يتم إعطاء نظرة مختصرة عن التدفقات المختلفة بالتدريج للتعرف على الحالات الهيدروليكية التى يمكن مقابلتها فى الواقع.

كما سبق توضيحه التدفق الثابت والمنتظم يعنى الحالة الهيدروليكية حيث معدل التدفق (التصرف) ومساحة المقطع للتدفق يظلان ثابتين خلال كل طول القناة. فى هذه الحالات، فإن السرعة وعمق التدفق يجب أن يظل ثابتاً، وأن خط التدرج الهيدروليكى يجب أن يوازى الميل الحقيقى للقناة (الماسورة). عمق التدفق يسمى العمق الطبيعى (Normal Depth). فى حالة القنوات ذات مساحة المقطع الثابتة والتى تكون طويلة، فإن حالات التدفق تقترب طبيعيا من التدفق المنتظم والعمق يقترب طبيعيا من العمق الطبيعى، مع ثبات التصرف.

الطاقة النوعية : (Specific Energy)

القنوات لا تتدفق دائماً عند العمق الطبيعى، وخاصة قريباً من التغيرات فى الميل أو التغيرات فى مساحة مقطع القناة. عامل هام مرتبط بنوع التدفق فى القناة يسمى الطاقة النوعية، والتى تعرف بمجموع عمق التدفق وضغط السرعة (Velocity Head) فى القناة فى شكل معادلة يمكن أن تكون كالآتى :

$$E = Y + V2 /2g$$

حيث :

E = الطاقة النوعية، متر (قدم)

Y = عمق التدفق متر (قدم)

V = متوسط السرعة م/ث (قدم/ث)

g = عجلة الجاذبية متر /ث٢ (قدم/ث٢)

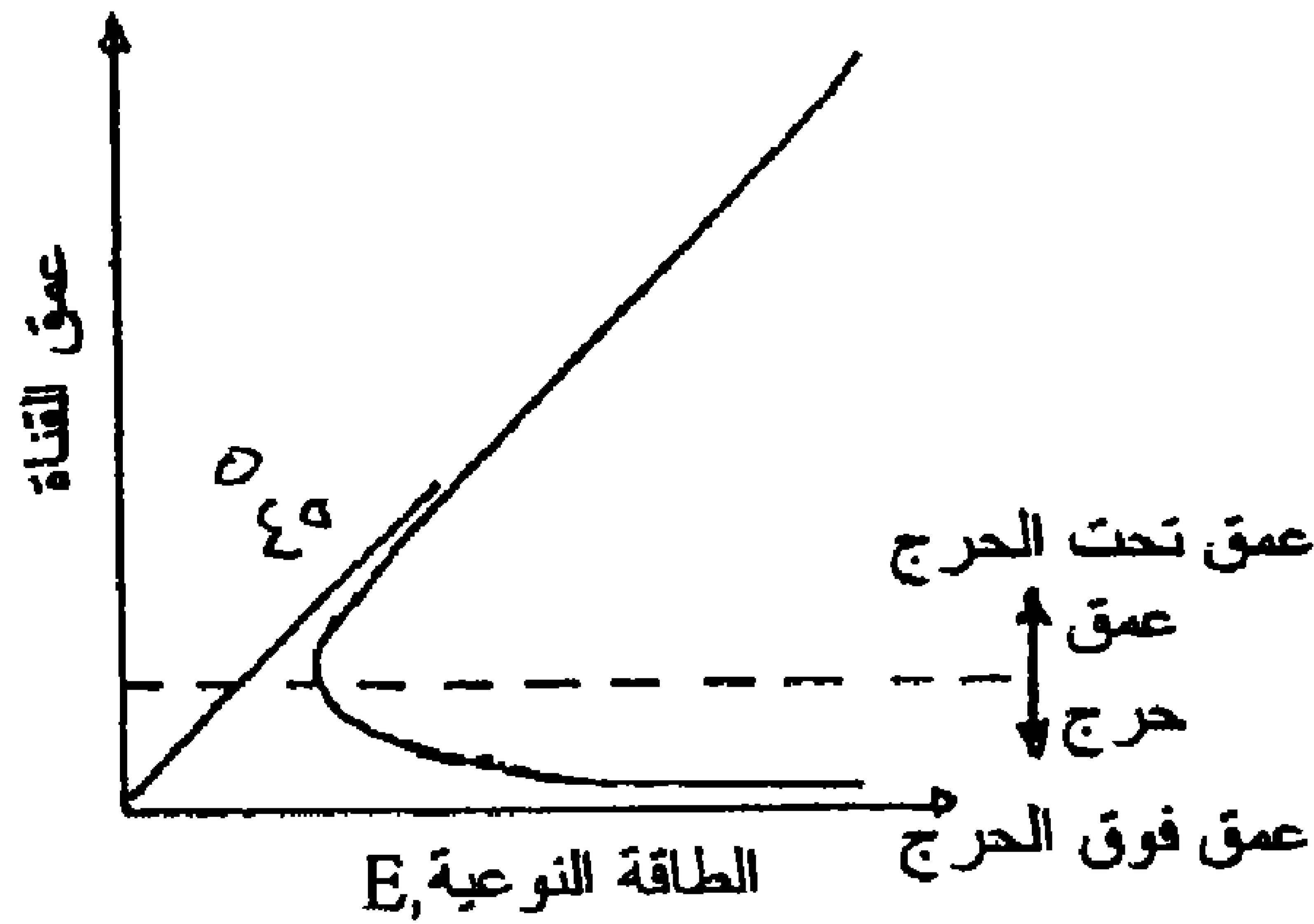
(Velocity Head) ضغط السرعة = V2/2g

فى حالة إهمال الفقد بالاحتكاك والتغير فى الارتفاع لمقطع قصير جداً للقناة، فإن الطاقة النوعية يجب أن تكون ثابتة بالنسبة لمقطعين متجاورين للقناة أو E2 = E1.

وبذلك

$$y_1 + V_1^2/2g = y_2 + V_2^2/2g$$

بناء على مبدأ استمرارية التدفق فإن سرعة التدفق تتناسب عكسياً مع مساحة التدفق، مع ثبات التصرف. كذلك، مساحة التدفق هى دلالة لعمق القناة. لذلك، بالنسبة لتصرف معين فإن الطاقة النوعية هى فقط دلالة للعمق عند كل نقطة فى القناة، وأنه يمكن أن يكون هناك أكثر من عمق واحد له نفس الطاقة النوعية. وهذا موضح فى الشكل (١/٢٩) والذى هو توقيع العلاقة بين عمق القناة (Y) مقابل الطاقة النوعية (E) بالنسبة لمعدل تدفق ثابت.



شكل (١/٢٩)

التدفق الحرج : (Critical Flow)

من الشكل (١/٢٩) يمكن ملاحظة أنه يوجد عمق تدفق واحد الذى عنده تصل الطاقة النوعية إلى أدنى قيمة لها. وهذا يسمى العمق الحرج (Critical Depth)، والسرعة التى يحدث عندها العمق الحرج تسمى السرعة الحرجة (Critical Velocity). إذا كان العمق الحقيقى للتدفق أعلى من العمق الحرج، فإن نوع التدفق يوصف بأنه دون الحرج (Sub critical)، سرعة التدفق فى التدفق دون الحرج تكون أبطأ عن السرعة الحرجة. إذا كان العمق الحقيقى للتدفق أقل عن العمق الحرج، فإن التدفق يتصف بأنه تدفق أعلى من

الحرج (Super Critical)، سرعة التدفق فى التدفق أعلى من الحرج أسرع من السرعة الحرجة. مثاليا الماء المتدفق سريعاً إلى أسفل من خلال ميل حاد لقناة ضحلة يحدث له تدفق أعلى من الحرج، بينما الماء المتدفق ببطء فى قناة عميقة نسبياً على ميل متوسط تكون فى حالة تدفق أدنى من الحرج.

التغير التدريجى للتدفق :

عندما يكون التدفق ثابتاً وأن يكون التغير فى العمق على طول القناة مهملاً، فإن العمق الثابت للماء هو العمق الطبيعى للتدفق. فى كثير من الحالات فى نظم الصرف الصحى والمنشآت الهيدروليكية الأخرى، كذلك فى المجارى الطبيعية أو الأنهار، يمكن أن توجد بعض الحالات التى تمنع عمق الماء من أن يكون مساوياً للعمق الطبيعى خلال كل الطول للقناة. فمثلاً، وجود اختناق عند نهاية خط مواسير الصرف قد يجبر العمق ليكون فوق العادى عند تحت التيار للماسورة، فى مثل هذه الظروف، فإن المهندس يجب أن يكون قادراً على حساب ارتفاعات الماء فوق التيار، أو التدرج الهيدروليكى لتأكيد عدم حدوث فيضان أو زيادة تحميل خط المواسير. عندما يكون الفرق فى عمق الماء من أحد نهايات القناة المفتوحة إلى أخرى يكون واضحاً، فإن التدفق يتصف بأنه تدفق متغير تدريجياً، حيث يلزم أداء هندسى متقدم. والقناة تنقسم إلى عدد من الأطوال الصغيرة أو الأجزاء ويتم تحليل كل جزء أو قطاع منفصلاً. الخطوة الأولى هى بتعيين نوع التدفق المتوقع حدوثه فى جزء القناة (أو فى ماسورة التدفق بالجاذبية). هذا التعيين مبنى على ميل القناة، العمق الطبيعى، العمق الحرج المحسوب، والتحكم فى الحالات الهيدروليكية تحت التيار أو الظروف المحيطة.

أنواع الميل : (Slope Classification)

العمق الطبيعى والعمق الحرج يمكن حسابه للمقطع باستخدام المعادلات الهندسية المناسبة. إذا كان العمق الطبيعى أعلى من العمق الحرج، فإن الميل يكون لطيفاً ومعتدلاً. إذا كان الميل الطبيعى مساوياً للميل الحرج، فإن الميل يكون حرجاً. إذا كان الميل الطبيعى مساوياً للميل الحرج، فإن الميل يكون حرجاً. إذا كان الميل الطبيعى أقل من الميل الحرج، فإن الميل يكون حاداً.

تقسيم الشكل العام للتدفق : (Flow Profile Classification)

توجد ثلاث مناطق للتغير التدريجى للتدفق كالآتى :

١- المنطقة رقم ١: العمق الحقيقي للتدفق يكون أعلى من كل من العمـق الطبيعـي والعمق الحرج.

٢- المنطقة رقم ٢: العمق الحقيقي للتدفق يكون ما بين العمـق الطبيعـي والعمـق الحرج.

٣- المنطقة رقم ٣: العمق الحقيقي للتدفق يكون أقل من كل من العمـق الطبيعـي والعمق الحرج.

عند تعيين التقسيم للميل ومنطقة التدفق، فإن الشكل العام للتدفق يمكن معرفته (الشكل العام للتدفق، هو منظر جانبى للتدفق، موضحا القاع المستقيم للقناة وسطح الماء المنحنى، مقارنة بشكل المقطع).

يوجد عدد من تقسيمات شكل التدفق. من المهم معرفة شكل التدفق لإمكان التعامل مع حسابات التدرج الهيدروليكي. بعض من أنواع أشكال التدفق المختلفة موضح فى الـشكل (١/٣٠). فى الشكل (٣٠/) الخطوط المتصلة تمثل سطح الماء الحقيقي، الخطـوط ذات التهشير الصغير تمثل العمق الطبيعى المحسوب، والخطوط ذات التهشير الكبيـر تمثـل الأعماق الحرجة المحسوبة. معرفة نوع الشكل العام للتدفق ومكان العمق الحقيقى للماء، يمكن المهندس من تعيين ما إذا كان التدفق تحت الحرج أو فوق الحرج.

بغرض منع السرعات الزائدة التى يمكن أن تسبب برى فى المواسير أو القنوات، فإن معظم مواسير الصرف الصحى تصمم بالميول المعتدلة لتحمل التدفقات تحت الحرجـة. هذا يعنى أن التحكم الهيدروليكى هو عند طرف فوق التيار للمقطع والحسابات تستمر فى إتجاه تحت التيار. عندما يكون عمق التدفق فوق العمق الطبيعى (المنطقة ١) فى الميـل المعتدل فإن شكل التدفق يكون فى شكل (M1). حساب ارتفاعات الماء فوق التيار (التدرج الهيدروليكى) للشكل (M1) يسمى التحليل الخلفى للماء (Back Water Analysis). عنـدما يكون عمق التدفق بين العمق الحرج والطبيعى (المنطقة ٢)، على الميل المعتـدل، فـإن الشكل العام يكون فى الشكل (M2). حساب التدرج الهيدروليكى للشكل (M2) يسمى تحليل الانخفاض (Draw - Down Analysis). عند حدوث تدفقات فوق الحرجة فـإن المقطـع الحاكم يكون عند نهاية فوق التيار، المجرى (الماسورة) والحسابات تتقدم فى اتجاه تحت التيار. هذا النوع من الحسابات يسمى تحليل أمامى للماء (Front Water Analysis).

التدفق السريع التغير : (Rapidly Varied Flow)

فى بعض حالات التدفق بالجاذبية، فإن أنواع الشكل للتدفق تختلط فى قطاع المجرى (الماسورة). التدفق المضطرب سريع التغير يمكن أن ينتج من التغير المفاجئ فى الميول فوق التيار وتحت التيار. مثال عادى للتغير السريع للتدفق هو القفز الهيدروليكى (Hydraulic Jump)، الذى يحدث عند مرور التدفق من حالة فوق الحرج إلى حالة تحت الحرج. الشكل (١/٣١) يوضح القفز الهيدروليكى لقناة ذات ميل حاد، حيث الشكل S_2 يحدث له تغير مفاجئ إلى الشكل S_1.

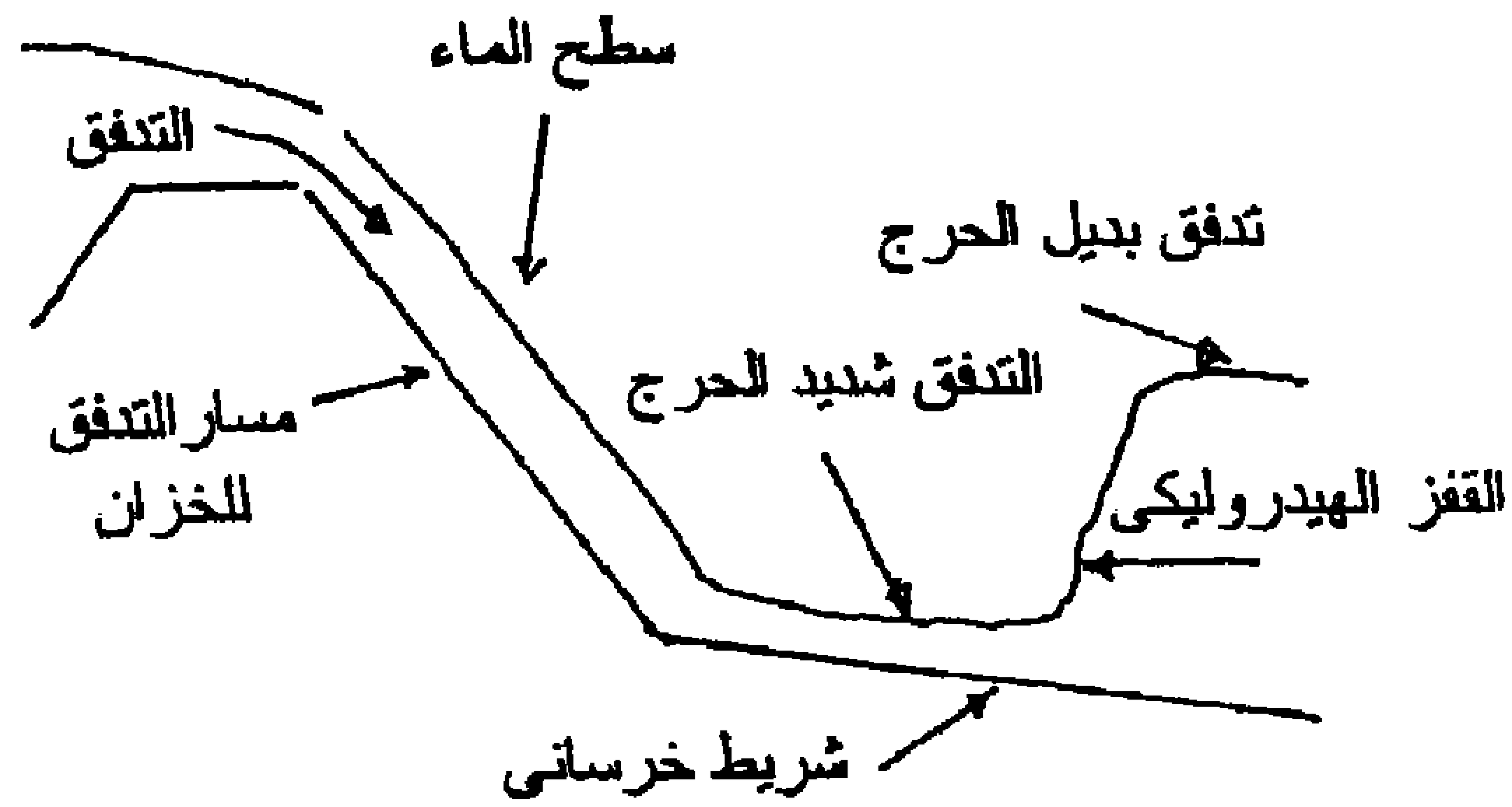
فى خطوط مواسير مياه الأمطار، كمثال، يحدث القفز الهيدروليكى عند الصرف من ماسورة ذات ميل حاد إلى حالة ارتداد الماء (Tail Water Condition) (أى حالة تحت التيار الهيدروليكى التى تكون بسبب اختناق فى المجرى أو إعاقة مثل الهدار أو حالة تسبب ارتداد التدفق. الشكل (٢/٣١) يمثل هذه الحالة. يوجد فقد فى الطاقة مصاحباً للقفز الهيدروليكى بسبب كمية الاضطراب (الخلط السريع) الذى يحدث. القوى المسببة للقفز يمكن أن تسبب برى واحتكاك وتآكل، لذلك فإنه يلزم منع حدوث القفز الهيدروليكى فى شبكات مواسير الصرف. وكبديل يمكن حساب المكان المتوقع فيه حدوث القفز لتوفير الماسورة أو القناة المناسبة أو منشأ الحماية. فمثلاً، عند حدوث القفز الهيدروليكى تحت التيار لسد شكل (١/٣٢) فإنه يجب تصميم حزام وبنائه لمنع حدوث البرى لقاع المجرى.

	المنطقة(١) اشكال التدفق	المنطقة(٢) اشكال التدفق
ميل	M_1, Y_q, Y_c	M_2, Y_q, Y_c
ميل حاد	S_1, Y_c, Y_a	S_2, Y_c, Y_q

شكل (١/٣٠) مثال لتقسيمات شكل التدفق. هنا Ya هو العمق الحقيقى، Yc العمق المحسوب.



شكل (١/٣١) فى القفز الهيدروليكى، يتغير التدفق فجأة من تدفق شديد الحرج إلى تدفق بديل الحرج ويزداد عمق التدفق خلال جزء صغير من القناة.



شكل (١/٣٢) مكان القفز الهيدروليكى أسفل السد (الخزان)

يجب تعيينه لتصميم الطبقة الخرسانية للقاع.

الفصل الثانى

نوعية المياه : (Water Quality)

موضوع نوعية المياه يركز على وجود مواد غريبة فى الماء وتأثيراتها على الإنسان أو البيئة المائية. الماء ذو النوعية الجيدة لغرض ما يمكن أن يكون ذو نوعية رديئة لأغراض أخرى. فمثلاً الماء المناسب للسباحة قد يكون ليس بالنوعية الجيدة للشرب. وحتى فإن مياه الشرب قد لا تكون مناسبة لاستخدام صناعى معين والذى يتطلب مياه أكثر نقاءً. ما هو الماء النقى تماماً؟ وكذلك كيف يكون نقاء الماء للشرب وللاستخدامات الأخرى؟ أنه لا يكفى فقط وصف الماء بصفة جيد أو ردئ، حيث يلزم بعض الإجراءات الكمية لتعيين ووصف حالة الماء. من الضرورى تعيين ما هى المواد التى فى الماء وبأى تركيز، وكذلك معرفة المعلومات عن تأثيرات هذه المواد على الصحة العامة وعلى البيئة. وأخيراً معرفة بعض المعايير التى يتم بها مقارنة نتائج التحاليل وبذا يمكن تقدير ملاءمة الماء لاستخدام معين.

الماء له ميل طبيعى لإذابة المواد الأخرى، لهذا فإنه نادراً ما يوجد فى الطبيعة فى الحالة النقية. حتى ماء العيون الطبيعية فى الجبال بعيداً عن وجود تجمعات سكانية فإنه يحتوى على بعض الملوثات الطبيعية المذابة والعالقة. التغيرات فى نوعية المياه تبدأ مع ترسيبات الأمطار. مع هطول الأمطار خلال المجال الجوى فإنها تلتقط جسيمات ترابية وغازات مثل الأكسجين وثانى أكسيد الكربون. فى بعض المناطق الصناعية تتغير نوعية مياه الأمطار بدرجة كبيرة قبل وصولها إلى سطح الأرض. المطر الحمضى هو المثال الواضح لهذا هو.

تدفقات مياه السطحية تلتقط جسيمات من التربة، البكتريا، مواد عضوية وأملاح معدنية قابلة للذوبان فى الماء. المياه الجوفية عادة تحتوى على أملاح معدنية مذابة أكثر من المياه السطحية ذلك لفترة التصاقها الطويلة مع التربة والصخور. وأخيراً تتأثر نوعية المياه كثيراً بالأنشطة الآدمية بما فيها استخدامات الأرض (مثل الزراعة) والصرف المباشر للمخلفات المنزلية والصناعية فى البيئة.

حماية نوعية المياه وإعداد المياه لاستخدام معين هو من الأهداف الأساسية فى مجال دراسة تكنولوجيا البيئة.

١- أساسيات كيمياء الماء :

دراسة نوعية المياه والحماية من التلوث يتطلب معلومات أساسية عن الكيمياء، وهو العلم الذى يتعامل مع مكونات وخواص المواد. وسوف يفيد من يحتاج إلى زيادة المعرفة وكذلك تذكرة من لدية المعرفة فى هذا المجال.

العناصر والمركبات : (Elements and Compounds)

كل مادة تتكون من مواد أساسية تسمى العناصر، والتى لا يمكن تقسيمها أو تفتيتها إلى مواد أصغر بالتغير الكيماوى العادى. أصغر جزء للعنصر الذى يمكن أن يوجد ويحتفظ بنفس الخواص الكيماوية لهذه المادة يسمى الذرة. يوجد أكثر من ١٠٩٠ عنصراً معروفا. بعض من العناصر العادية مع الرموز المستخدمة فى المعادلات الكيماوية موضح فى الجدول التالى :

جدول (٢/١) العناصر العادية ورمزها الكيماوى ووزنها الذرى :

العنصر	الرمز	الوزن الذرى	العنصر	الرمز	الوزن الذرى
ألومنيوم	Al	٢٧	الزئبق	Hg	٢٠١
الزرنيخ	As	٧٥	النيتروجين	N	١٤
الباريوم	Ba	١٣٧	الأكسجين	O	١٦
الكادميوم	Cd	١١٢	الفوسفور	P	٣١
الكالسيوم	Ca	٤٠	البوتاسيوم	K	٣٩
الكربون	C	١٢	السيلينيوم	Se	٧٩
الكلور	Cl	٣٥	السليكون	Si	٢٨
الكروم	Cr	٢٤	الفضة	Ag	١٠٨
النحاس	Cu	٦٤	الصوديوم	Na	٢٣
الفلور	F	١٩	الكبريت	S	٣٢
الهيدروجين	H	١	الزنك	Zn	٦٥
الحديد	Fe	٥٦			
الرصاص	Pb	٢٠٧			
المغنسيوم	Mg	٢٤			
المنجنيز	Mn	٥٥			

يرتبط علم الكيمياء كذلك بكيفية تفاعل واتحاد العناصر مع بعضها، مكونة المركب الكيماوى. المركبات هى مواد من مجموعات مختلفة من مختلف العناصر. أصغر جزء من المركب الكيماوى الذى يمكن أن يوجد ويحتفظ بنفس الخواص الكيماوية لهذا المركب يسمى الجزئ (Molecule).

الجزيئات يمكن تمثلها باستخدام مجموعات من الرموز للذرات في الجزئ، مثل هذا التجميع يسمى الرمز الكيماوى أو المعادلة الكيماوية. فمثلاً جزئ واحد من الماء يتكـون من ذرتين من الهيدروجين (H) وذرة واحدة من الأكسجين (O)، ورمز الكيماوى (H_2O). الرقم ٢ بعد الهيدروجين يبين أن هناك ذرتين من الهيدروجين في جزئ المـاء. الرمـز الكيماوى لمركب أكسيد الحديد والذى يسمى عادة الصدأ هو (Fe_2O_3)، والـذى يبـين أن هناك ذرتين من الحديد وثلاث ذرات من الأكسجين في جزئ واحد من المركب. يوجـد مئات الآلاف من المركبات المعروفة، وهما منقسمين إلى قسمين رئيسيين هما المركبات العضوية والمركبات الغير عضوية. المركبات العضوية هى جزيئات معقـدة للكربـون المتحد مع عناصر أخرى، مثل الهيدروجين والأكسجين.

المركبات الغير عضوية عادة لا تحتوى على الكربون، وأن كان هناك استثناء فـى ذلك. عموماً المركبات العضوية هى ذات علاقة قريبة بالكائنات الحية، بينما المركبـات الغير عضوية هى جزء كبير من المركبات الغير حية (Inanimate). فى الجدول (٢/٢) بيان للمواد الغير عضوية العادية. كثير من هذه المركبات تستخدم فى عمليـات معالجـة المياه ومياه الصرف، يشمل هذا البيان الاسم الكيماوى، الاسم العادى، الرمز لكل مركب، وكذلك الحالة الطبيعية (صلب، سائل، غاز) عند درجات الحرارة والضغط العادى.

البناء الذرى : (Atomic Structure)

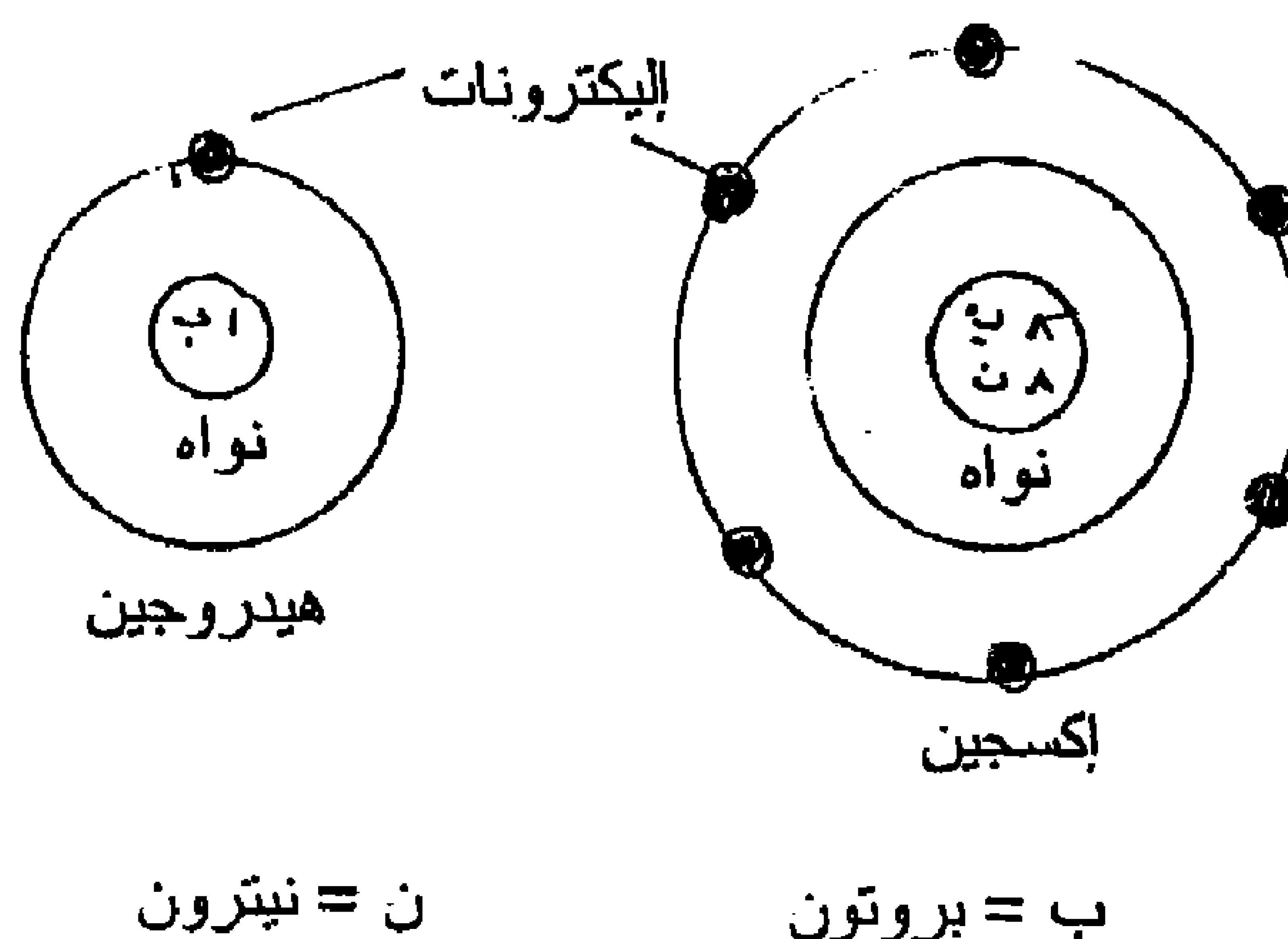
الطريقة التى تتحد بها العناصر مع بعضها لتكوين المركبات تتوقف على البناء الذرى (أو التركيب الذرى). النموذج المبسط للتركيب الذرى يشمل المركز الكثيـف أو النـواة (Nucleous) ذات جسيمات موجبة الشحنة تسمى البروتونات وجسيمات ليس لها شحنة أو متعادلة تسمى النيترونات. الجسيمات الدقيقة جداً ذات الشحنة السالبة تسمى الإليكترونات تدور حول النواة فى مسارات متحدة المركز (Concentric). لتوضيح النموذج الأساسـى للتركيب الذرى، المخطط الذرى الهيدروجين وذرة الأكسجين موضح فى الشكل (٢/١).

الطريقة الوحيدة لمعرفة العنصر هى بعدد البروتونات فى نواة ذلك العنصر، والـذى يسمى الرقم الذرى (Atomic Number). كل عنصر له رقم ذرى مختلف.

جدول (٢/٢) المركبات الغير عضوية العادية:

الاسم الكيماوى	الاسم العادى	الحالة	الرمز الكيماوى
كبريتات الألومنيوم	الشبه	صلبة	$Al_2 (SO_4)_2$
أمونيا	نشادر	غاز	NH_3
كربونات كالسيوم	حجر جيرى	صلبة	$CaCO_3$
أيدروكسيد الكالسيوم	الجير المطفى	صلبة	$Ca (OH)_2$
أكسيد الكالسيوم	الجير الحي	صلب	CaO
ثانى أكسيد الكربون	–	غاز	CO_2
أول أكسيد الكربون	–	غاز	CO
الكلور	–	غاز	Cl
كبريتات النحاس	الزاج الأزرق	صلب	$CuSO_4$
أكسيد الحديد المغناطيسى	الصدأ	صلب	Fe_3O_4
الهيدروجين	–	غاز	H_2
كبريتيد الهيدروجين	–	غاز	H_2S
حامض الهيدروكلوريك	Muriatic Acid	سائل	HCl
حامض الهيبوكلورس	–	سائل	$HClO$
حامض النيتريك	–	سائل	HNO_3
أكسجين	–	غاز	O_2
أوزون	–	غاز	O_3
كربونات الصوديوم	صودا آس	صلب	Na_2CO_3
كلوريد الصوديوم	ملح الطعام	صلب	$NaCl$
ايدروكسيد الصوديوم	صودا كاوية	صلب	$NaOH$
ثانى أكسيد الكبريت	–	غاز	SO_2
حامض كبريتيك	زيت الزاج	سائل	H_2SO_4

فمثلاً، الرقم الذرى للهيدروجين هو واحد (1) وللأكسجين (8). الذرات نفسها هى متعادلة كهربياً لأن عدد الإليكترونات سالبة الشحنة التى تدور فى مسار حول النواة هو نفسه عدد البروتونات موجبة الشحنة داخل النواة، الشحنات الغير متماثلة يلغى كل منها الآخر أو تعادله.



شكل (٢/١) نموذج البناء الذرى للهيدروجين والأكسجين الهيدروجين له بروتون واحد فى نواته، الأكسجين له ٨ بروتون و ٨ نيترون

إجمالى عدد البروتونات زائد الإليكترونات فى النواة يسمى رقم الكتلة (Mass No.) للعنصر ويساوى تقريباً الوزن الذرى. كتلة الإليكترون أو وزنه صغيراً جداً مقارنة بالبروتون. فمثلاً، الوزن الذرى للهيدروجين هو واحد (ذلك لأنه لا يحتوى على نيترونات فى النواة) والوزن الذرى للأكسجين هو ١٦ (٨ بروتونات زائد ٨ نيترونات).

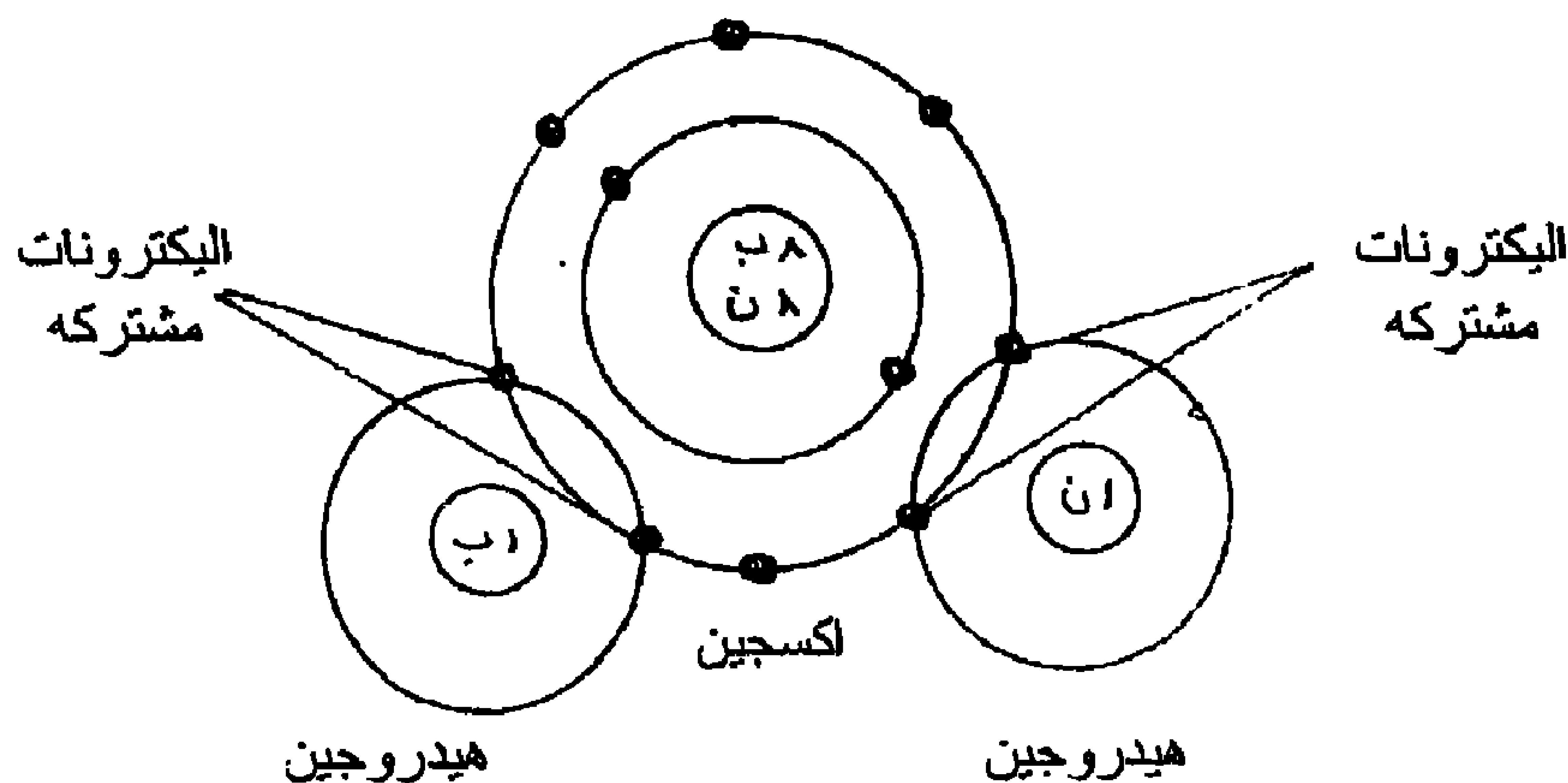
طريقة سلوك العنصر كيماوياً تعتمد أساساً على عدد الإليكترونات فى المسار الخارجى. المسارات القريبة من النواة تكون مستقرة عندما يكون بها (٢) إليكترون، وهو أقصى ما يمكن أن تحتويه. المسار الثانى هو أكثر استقراراً عند احتوائه على أقصاه من ثمانية إليكترونات. الذرات الأكبر لها مسارات إليكترونية إضافية.

تكوين الجزئيات : (Formation Of Molecules)

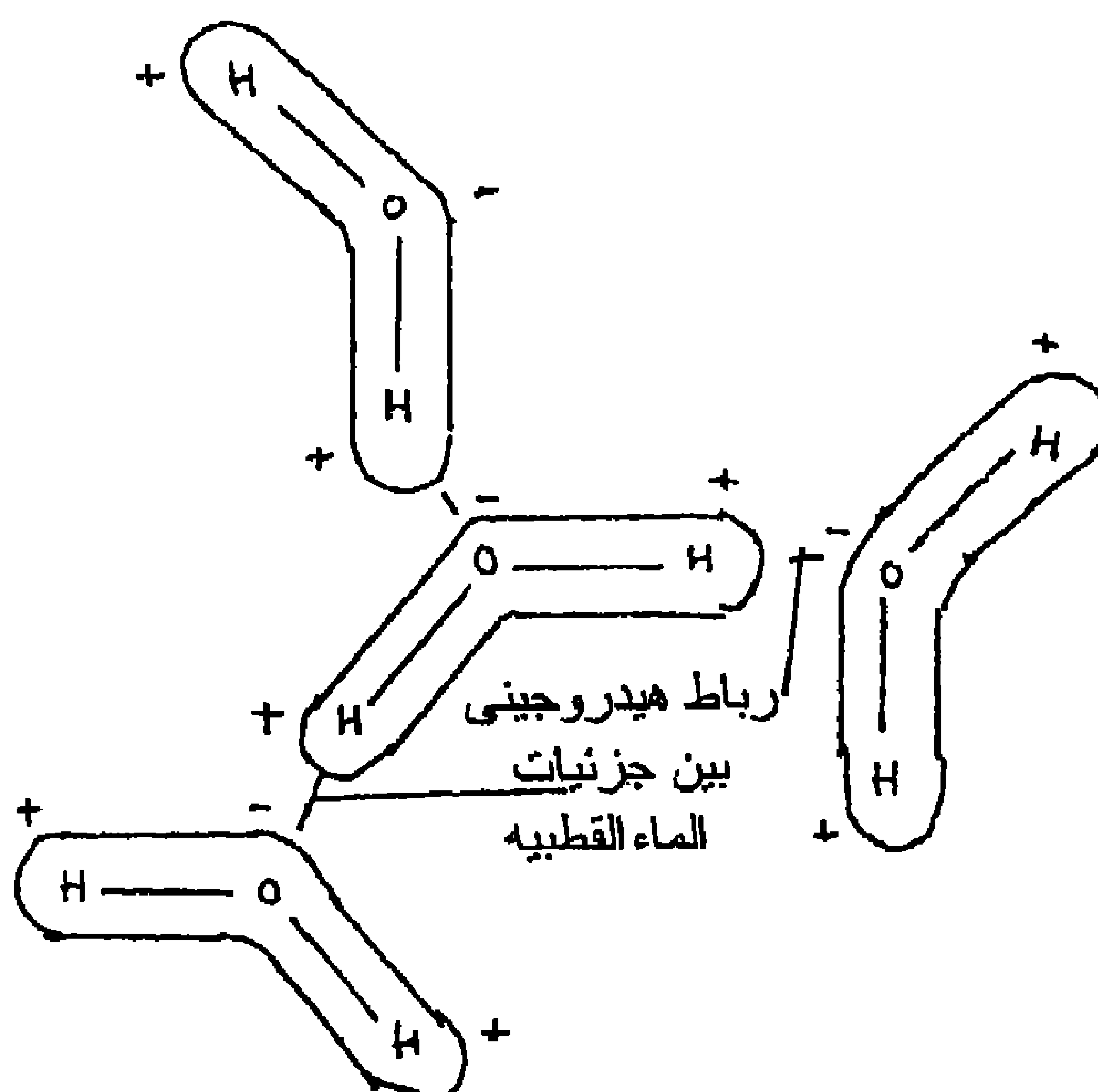
تتكون المركبات أما بانتقال أو باقتسام الإليكترونات بين ذرتين أو أكثر. فمثلاً، كلوريد الصوديوم (NaCl) يتكون بانتقال إليكترون واحد من المسار الخارجى لذرة الصوديوم إلى المسار الخارجى لذرة الكلور. نتيجة لذلك فإن الصوديوم يكون له شحنة موجبة والكلور له شحنة سالبة. نظراً لأن الشحنات الغير متماثلة تنجذب لبعضها، فإن

مركب (NaCl) يتكون بسبب التصاق أيونات +Na، -Cl مع بعضها. هذا مثال لما يسمى الرباط الأيونى بين الذرات (سيتم مناقشة الأيونات فيما بعد). فى حالة جزئ الماء H_2O، فإن ذرتين الهيدروجين يقتسمان إليكتروناتهما مع ذرة الأكسجين، كما فى الشكل (٢/٢). وهذا ما يسمى بالرباط ذو التكافؤ المزدوج (Covalent Bonding). فى الرباط الأيونى يوجد انتقال كامل للإلكيترونات، ولكن فى رباط التكافؤ المزدوج (Covalent) فإن المسارات الخارجية تصبح مستقرة باشتراك الإليكترونات.

الذرات فى جزئ الماء تكون منظمة بزاوية بدلاً من أن تكون على استقامة واحدة، والإليكترونات المشتركة تدفع قريباً من ذرة الأكسجين نسبة إلى ذرة الهيدروجين. هذا ينتج عنه بما يسمى الجزئ الأيونى أو المستقطب (Polar molecule)، حيث لا تكون الشحنات الموجبة والسالبة ليست موزعة بانتظام. نهاية الأكسجين للجزئ تكون سالبة الشحنة ونهايات الهيدروجين تكون موجبة الشحنة. بسبب هذه الحالة الأيونية أو حالة الاستقطاب لجزئ الماء تكون معظم خواص الماء، بما فيها القدرة على إذابة مواد كثيرة أخرى. مخطط لاستقطاب جزيئات الماء والرباط الهيدروجينى الذى يربطها معاً فى حجم الماء موضح فى الشكل (٢/٣).



شكل (٢/٢) جزئ الماء (H_2O) يتكون من اشتراك الإليكترونات بين ذرة الهيدروجين والأكسجين وهذا مثال لرباط التكافؤ



شكل (٢/٣) جزئيات الماء الملتصقة مع بعضها. سبب قوى الجذب يسمى الرباط الهيدروجينى

المحاليل : (Solutions)

المحلول هو خليط متجانس من مادتين أو أكثر موجودين فى مجال واحد، أى فى الحالة الصلبة، والسائلة والغازية. المحاليل فى الماء تسمى المحاليل المائية (Aquous sloutions) وهى المألوفة لدى الناس. يمكن اعتبار ثانى أكسيد الكربون أنه مذاباً فى الهواء وهذا هو المحلول الغازى. الكربون (C) والمنجنيز (Mn) يذوبان فى الحديد لتكوين معدن الصلب وهذا مثال للمحلول الجامد أو الصلب (Solid).

فى هذه المحاليل، المادة الموجودة بكمية أكثر تسمى المذيب (Solvent) والمادة الموجودة بكمية أقل تسمى المذاب (Solute). خواص المحاليل تختلف عن خواص المذيبات. فمثلاً، رغم أن الماء يتجمد عند درجة حرارة صفر مئوية، إلا أن وجود الأملاح المذابة مثل كلوريد الصوديوم فى الماء تعمل على خفض نقطة التجمد إلى أقل من درجة الصفر المئوى. معظم التغيرات الكيماوية أو التفاعلات تحدث فى المحلول. لاحظ محلول السكر فى الماء الموضح فى الشكل (٢/٤). جزيئات السكر المستقلة تكون منتشرة بانتظام خلال الماء ولا ترسب إلى القاع. جزيئات المادة المذابة تظل دائما

مخلوطة بانتظام فى المذيب بسبب الطاقة الحركية والحركة المستمرة لكل الجزيئات. فى حالة إضافة كمية زائدة من السكر فإن المحلول سيصل إلى الحالة التى فيها لا تذوب جزيئات السكر. عند هذه النقطة فإن المحلول يسمى المحلول المشبع. درجة الحرارة لها تأثير كبير على نقطة التشبع، أى على كمية المادة المذابة التى يمكن أن تذوب فى المحلول قبل أن يصير مشبعا. معظم المواد الصلبة تكون أكثر إذابة فى الماء الساخن عنه فى حالة الماء البارد (فمثلاً، زيادة درجة حرارة محلول السكر – الماء سيسمح بإذابة جزيئات أكثر من السكر). بعض المواد السائلة يمكن أن تذوب فى الماء بدون حدود. الكحول، مثلاً، يمكن خلطه مع الماء بجميع النسب. فى حالة زيادة الكحول عن الماء فإن الكحول يعتبر عندئذ المذيب والماء هو المادة المذابة.

إذابة مختلف الغازات فى الماء، مثل الأكسجين، ثانى أكسيد الكربون، والكلور لها علاقة خاصة بتكنولوجيا البيئة. كما فى حالة المواد الصلبة فإن إذابة الغازات تتوقف على درجة الحرارة، ولكن العلاقة فى هذه الحالة تكون عكس ذلك فى حالة المواد الصلبة. إذابة الغاز تقل مع زيادة درجة الحرارة. إذابة الأكسجين لها أهمية خاصة فى نوعية المياه كما يتم مناقشته بعد ذلك. قيم التشبع للأكسجين المذاب فى الماء العذب عند درجات حرارة معينة موضحة فى الجدول (٢/٣).

جدول (٢/٣) إذابة الأكسجين فى الماء العذب

درجة الحرارة ° م	إذابة التشبع، ملجرام/لتر
صفر	١٤,٦
١٠	١١,٣
٢٠	٩,٢
٣٠	٧,٦

وهذا يوضح الإذابة المحدودة جداً للأكسجين وكذلك التأثير الواضح لدرجة الحرارة على الإذابة.

عوامل أخرى بخلاف درجة الحرارة تؤثر كذلك على إذابة الغازات. عند الارتفاعات العالية، وانخفاض الضغط الجوى، فإن إذابة الغازات تكون أقل عن تلك عند مستوى سطح البحر. كذلك، زيادة الملوحة تقلل من إذابة الغازات. فمثلاً، يمكن إذابة كمية من

الأكسجين أقل فى مياه البحر عنه فى المياه العذبة تحت نفس الظروف فى درجة الحرارة والضغط.

التأين : (Ionization)

فى التناول السابق لمحلول السكر المائى، حيث يوضح أن جزيئات السكر احتفظت بشحنيتها، بمعنى أنها لم تنقسم إلى أقسام أصغر من جزيئات السكر. جزيئات السكر المتعادلة والتى ليس لها شحنة كهربية تظل منتشرة في المحلول، محاطة بجزيئات الماء.

يوجد كثير من المواد التى تتحلل أو تتفصل عند إذابتها، مكونة جسيمات أصغر ذات شحنة كهربية تسمى الأيونات (Ions). هذه العملية هى عملية التأين.

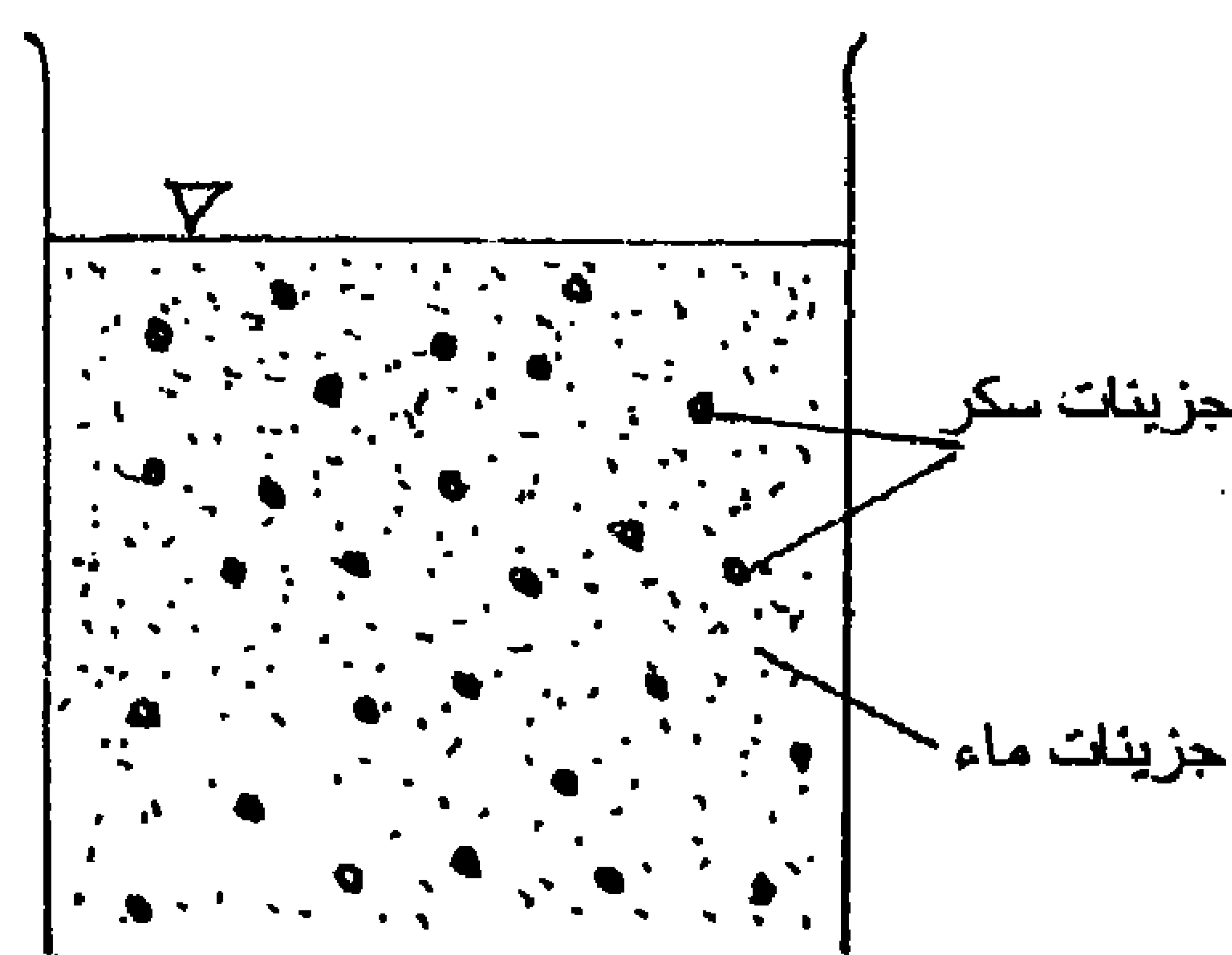
كلوريد الصوديوم تم وصفه كمركب أيونى بسبب طبيعة الرباط الكيماوى بين أيونات (Na+)، (Cl-). يتحلل كلوريد الصوديوم فى الماء كما هو موضح فى المعادلة الكيماوية التالية.



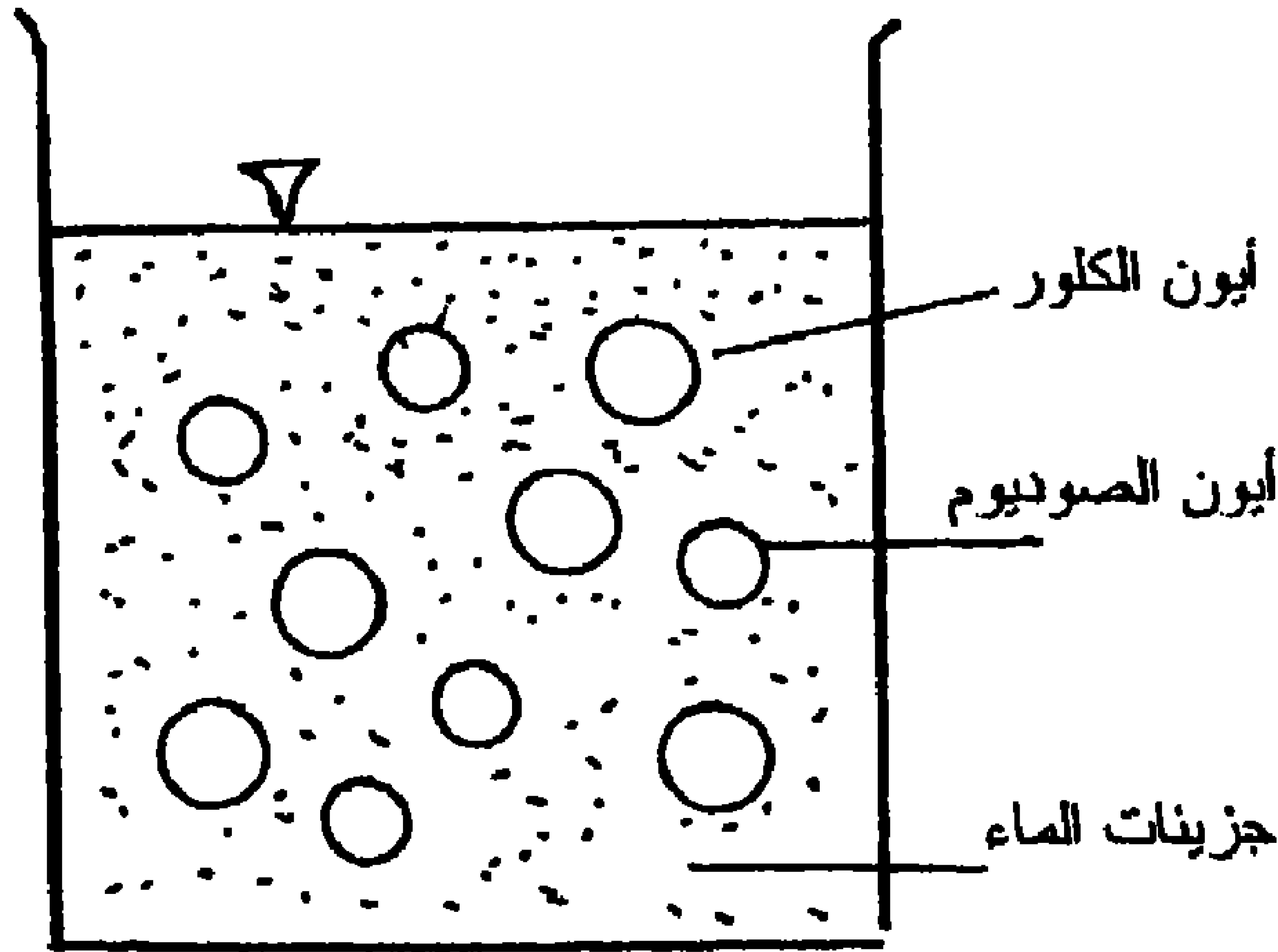
$$NaCl \dashrightarrow Na^{+} + Cl^{-}$$

كلوريد صوديوم   ايون صوديوم موجب   أيون كلور سالب

أيون الصوديوم (N^{+}) له شحنة موجبة لأنه أعطى إليكترونه الخارجى لذرة الكلور وبذا يكون لديه بروتونات أكثر من الإلكترونات. أيون الكلوريد (Cl-) سالب لأن لديه إليكترونات أكثر من البروتونات، حيث مساره الخارجى ثابت بالإليكترون الإضافى من ذرة الصوديوم. المحاليل الأيونية تكون متعادلة، إجمالى الشحنات الموجبة يجب أن تساوى إجمالى الشحنات السالبة فى المحلول. الشكل (٢/٥) يوضح شكل محلول كلوريد الصوديوم فى الماء.



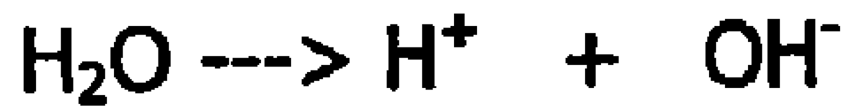
شكل (٢/٤) مخطط لمحلول السكر. تظل جزيئات السكر منتشرة بانتظام خلال حجم الماء



شكل (٢/٥) مخطط لمحلول أيونى لكلوريد الصوديوم فى الماء

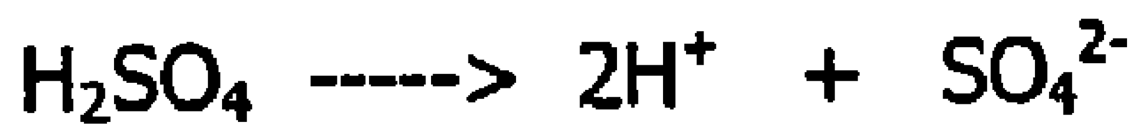
الأيونات المعقدة : (Complex Ions)

فى بعض الحالات، تتحلل الجزيئات إلى أجسام ذات شحنة كهربية تتكون من مجموعات من الذرات التى تعمل معاً كوحدة واحدة. هذه الأقسام ذات الشحنة تسمى الأيونات المعقدة، وهى ذات أسماء خاصة تستخدم عادة فى كيمياء المياه. فمثلاً، يمكن تحلل جزئ الماء إلى أيون الهيدروجين (H^+) وأيون الإيدروكسيد (OH^-) كالآتى :



H_2O ---> H^+ + OH^-

حامض الكبريتيك هو مثال للمركب الذى يتحلل بسرعة فى الماء كالآتى :



H_2SO_4 -----> $2H^+$ + SO_4^{2-}

SO_4^{2-} يسمى أيون الكبريتات، فله شحنتين سالبتين والتى تعادل إجمالى الشحنة الموجبة لعدد اثنين من أيونات الهيدروجين. أيون الكبريتات المعقد يعمل كأيون بسيط، لهذا فإنه لا يتحلل إلى أقسام أصغر.

أيونات معقدة أخرى ذات أهمية فى التطبيقات البيئية تشمل النترات (NO_3^{1-})، الفوسفات (PO_4^{2-})، الأمونيوم (NH_4^+)، الهيبوكلورايت (OCl^-). يوجد كثير آخر سيتم مناقشته لاحقاً.

العوالق والغرويات : (Suspensions and Colloids)

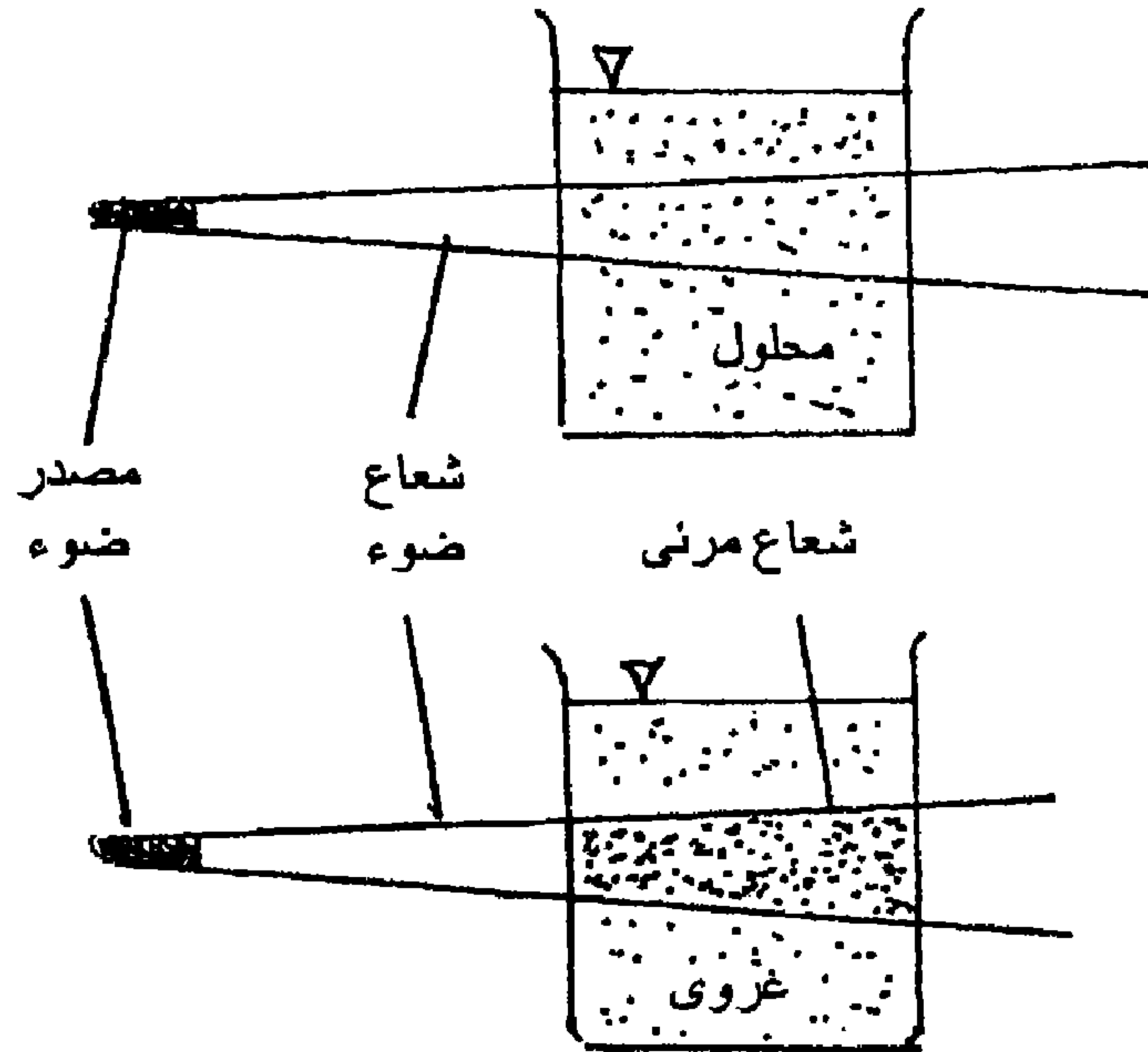
رغم أن كثيراً من المواد تكون فى المحلول فى الشكل الجزيئى أو الأيونى (محلول حقيقى)، فإن بعض المواد يمكن أن تكون عالقة فى المخلوط فى جسيمات أكبر من

الجزيئات كثيراً. خواص هذه المخاليط تختلف عن تلك للمحاليل الحقيقية ولها أهمية فـي تكنولوجيا البيئة.

ربما أن أحد أهم الخواص للمحلول الحقيقى هو أن جسيمات المادة المذابة لا ترسب ولا تنفصل من المخلوط، ذلك مهما طال بقاء المحلول تحت ظروف الثبات. هذا بالإضافة إلى أن المواد المذابة لا يمكن فصلها طبيعياً من المذيب بالترشيح. مقارنة بـذلك، فـإن معظم الأجسام العالقة عند توفر الوقت الكافى، سوف ترسب من الماء بفعـل الجاذبيـة. كذلك فإن المواد العالقة يمكن إزالتها من الماء بالترشيح. لهذا، فإن العوالـق مـن مـواد التربة، المواد العضوية وحتى الكائنات الدقيقة هى من بين أول الملوثات اللازم إزالتها فى نظم معالجة المياه ومياه الصرف.

العوالق ذات الأجسام الكبيرة نسبياً تسمى العوالق الخشنة. فى المياه الساكنة ترسـب الجسيمات الكبيرة من الماء فى بضع دقائق. الجسيمات الدقيقة تستغرق سـاعات كثيـرة لترسب. حتى أن بعض البكتريا ذات الحجم حـوالى ٠,٠٠١ مليمتـر أو ١ مليميكـرون ترسب نحو القاع (الميكروميتر هو واحد على مليون من المتر أو ١٠$^{-٦}$ من المتر). أنـه يمكن استنتاج الترسيب للبكتريا رياضياً أنها سوف ترسب بمعدل حوالى ١ متر فى ١٧٥ ساعة، ولكن هذه طريقة صعبة لإزالة البكتريا من الماء. الأجسام الصغيرة جداً تلك التى أقل من ٠,١ مليميكرون تكون صغيرة جداً بالنسبة للترسيب بفعل الجاذبيـة أو الإزالـة بالترشيح. هذه الجسيمات اصغر من تلك الموجودة فى العوالق الخشنة ولكنها فى نفس الوقت أكبر من تلك الموجودة فى المحلـول الحقيقـى تـسمى الغرويـات (Colloids). الغرويات توجد فى الهواء وكذلك فى الماء. فى الماء، مثلاً، جسيمات الطفلة، وكذلك قطع النباتات الصغيرة المتآكلة والمخلفات العضوية يمكن أن تكون عوالق غروية. فى الهواء، العوالق الغروية من الجسيمات الصلبة الصغيرة جـداً (الـدخان) أو الأجـسام الـسائلة (الضباب) يمكن مصادفتها.

مثل الأجسام فى المحلول الحقيقى، فإن الأجسام فى العالق الغروى لا يمكن رؤيتهـا تحت المجهر. فى المحلول الحقيقى، يمكن أن تمر حزمة من الضوء خلال المحلول بدون أى تشتت للضوء، ولكن فى العوالق الغروية فإن الأجسام الغروية يمكن أن تشتت الضوء، بما يسمح برؤية الحزمة. وهذا ما يسمى بتأثير تندال (Tyndall Effect) والذى هو أحـد خواص الغرويات التى تميزها عن المحاليل. تأثير تندال موضح فى الشكل (٢/٦).



شكل (٢/٦) تأثير تندال. الضوء يتشتت بفعل الأجسام الغروية

وشعاع الضوء يمكن رؤيته فى السائل

الأجسام الغروية يمكن أن يكون لها كل الشحنات الكهربية الموجبة أو السالبة بقيم مختلفة. طبقاً لطبيعة المادة. حيث أن الشحنات تتنافر، فإن الأجسام الغروية تحافظ على المسافة بين كل منها. توجد قوة تنافر بينها. لأن الأجسام الغروية تتنافر فإنها نادراً ما تتصادم، لذلك فليس لها الفرصة لتلتصق معاً لتكوين أجسام أكبر وأكثر كثافة. بالإضافة إلى حجمها الصغير، فإن هذا سبب أساسى فى استقرارها وعدم ترسيبها. طريقة المعالجة التقليدية للمياه هى باستخدام كيماويات معينة لمعادلة تأثير الشحنات الغروية. وهذه تمكن من تصادم الأجسام والكيماويات لتكوين الزغبيات (Floc's)، والتى يمكن أن ترسب أو يمكن فصلها بالترشيح.

تقدير التركيزات : (Expressing Concentrations)

خواص المحاليل العوالق الغرويات تعتمد إلى حد كبير على تركيزاتها. المحلول المخفف أو الضعيف به نسبة قليلة من المادة المذابة فى المذيب. فخواصه تختلف عن تلك ذات التركيزات العالية لنفس المادة من المذيب لوجوده بكميات كبيرة.

نظراً لأن التركيز يلزم تقديره بالكم بدلاً من النوع مثل المخفف أو المركـز، فـإن التركيزات يعبر عنها عادة بالكتلة فى وحدة الحجم، الجزء فى المليون أو المليار، النسبة المئوية.

الكتلة فى وحدة الحجم : (Mass Per Unit Volume)

أحد التقديرات العادية للتركيز هو المليجرام فى اللتر (Mg/L). فمثلاً إذا كانت كتلـة ١٠ ملجرام من الأكسجين مذابة فى حجم من الماء قيمته واحد لتر فـإن تركيـز ذلـك المحلول يعبر عنه ببساطة ١٠ ملجرام/لتر. إذاكان ٠,٣ جرام من الملح مذاب فى ١٥٠٠ سم٣ من الماء، عندئذ فإن التركيز يكون ٣٠٠ ملجرام ÷ ١,٥ لتر = ٢٠٠ ملجرام/لتـر، حيث ٠,٣ جرام = ٣٠٠ ملجرام، ١٥٠٠سم٣ = ١,٥ لتر (١ جرام = ١٠٠٠ ملجرام، ١ لتر = ١٠٠٠ سم٣).

المحاليل المخففة جداً يكون من المناسب تقديرها بالميكروجرام فـى اللتـر (µg/L). فمثلاً تركيزة ٠,٠٠٤ ملجرام/لتر يفضل كتابته ٤ ميكروجـرام/لتـر. حيـث أن ١٠٠٠ ميكروجرام = ١ ملجرام، فإنه يتم ببساطة تحريك العلامة العشرية ثلاثة أماكن نحو اليمين عند التحويل من المليجرام إلى الميكروجرام. (من Mg/L إلى µg/L). يتم تحريك العلامة العشرية ثلاثة أماكن نحو اليسار عندالتحويل من الميكروجرام/ لتر إلى المليجـرام/لتـر. فمثلاً، تركيز ١٢٥٠ ميكروجرام/لتر يكافئ ١,٢٥ ملجرام/لتر.

فى الهواء، يعبر عن تركيز الجسيمات والغازات عادة بالميكروجرام علـى المتـر المكعب (µg/m3).

الجزء فى المليون (Part Per Million)

كتلة لتر واحد من الماء هى واحد كيلو جرام. ولكن واحد كيلو جرام يكـافئ ١٠٠٠ جرام أو واحد مليون ميلجرام. لذلك، إذا كان ١ ملجرام (1mg) لمادة مذاباً فى ١ لتر من الماء، يمكن القول أن ١ ملجرام/لتر مذاب فى كل واحد مليون مليجرام من الماء. بمعنى آخر يوجد واحد جزء فى المليون (I ppm). مع إهمال التغير الصغير فى كثافة الماء عند إذابة المواد فيها، فإنه يمكن القول أن تركيز ١ مليجرام/لتر يعادل واحد جزء فى المليون (1mgl= 1ppm). التحولات بسيطة جداً، فمثلاً فى حالة التركيز ١٧,٥ مليجرام/لتر فإنـه يشابه ١٧,٥ جزء فى المليون.

التقدير جزء في المليون يفيد في توضيح الصورة كيف أن التركيزات صغيرة في مجال تكنولوجيا البيئة. في حالة إذابة رطل واحد من الماء في خزان ماء سعته ٥٠ قدم × ٥٠ قدم × ٥٠ قدم فإن تركيز الملح سيكون حوالي ١ جزء في المليون. واحد جزء في المليون هو نفسه مثل واحد بوصة في حوالي ١٦ ميل أو ثانية واحدة في ١٦ ساعة.

التركيزات المنخفضة جداً يمكن التعبير عنها بالجزء في المليار (ppb)، بدلاً من الجزء في المليون. فمثلاً تركيز ٠,٠٠٥ جزء في المليون يفضل كتابته بالمكافئ ٥ جزء في المليار. حتى مثل هذه التركيزات المنخفضة جداً لبعض المواد يمكن أن تؤثر بشدة على نوعية البيئة وصحة الإنسان. أجهزة التحاليل الحديثة يمكنها الكشف عن تلك التركيزات (واحد جزء في المليار تعادل تقريباً واحد ثانية في ٣٣ عام، أو بنس واحد في عشرة ملايين من الدولارات).

التقدير ملجرام/لتر (mg/L) يفضل عن الجزء في المليون (ppm)، تماماً مثل التقدير ميكروجرام/لتر المفضل عن ما يكافئه وهو الجزء في المليار (ppb). ولكن كلا النوعين من الوحدات مازالا يستخدمان، حيث يلزم التأقلم مع كليهما.

النسبة المئوية للتركيز : (Percentage Concentration)

التركيزات التي تزيد عن ١٠٠٠٠ ملجرام/لتر عادة تقدر بالنسبة المئوية، فمثلا تحويل ١% = ١٠٠٠٠ ملجرام/لتر يمكن استخدامه حتى في حالة زيادة كثافة المحاليل عن ذلك للماء النقي (١٠٠٠٠ملجرام/لتر = ١٠٠٠٠ ملجرام ÷ ١٠٠٠٠٠٠ ملجرام = ١ ملجرام ÷ ١٠٠ ملجرام = ١%).

تركيز الملح في ماء البحر هو حوالي ٣٥٠٠٠ ملجرام/لتر. لتحويله إلى نسبة مئوية يتم القسمة على ١٠٠٠٠ للحصول على ٣,٥%. تركيز حمأة مياه الصرف يمكن أن تكون ٣% مواد صلبة. لتحويل هذه إلى ملجرام/لتر يتم الضرب في ١٠٠٠٠، للحصول على ٣٠٠٠٠٠ ملجرام/لتر مواد صلبه.

$$\text{النسبة المئوية} = \frac{\text{كتلة المادة المذابة بالملجرام}}{\text{كتلة المذيب بالملجرام}} \times ١٠٠$$

الوحدات الأمريكية التقليدية :

التقدير حبيبات فى الجالون (Grains per Gallon) يستخدم أحياناً لتركيزات مواد معينة فى الماء. حبيبة واحدة فى الجالون تعادل تركيز ١٧,١ مليجرام/لتر (1gpg = 17.1 mg/L).

التقدير أرطال فى المليون جالون يستخدم كذلك فى الوحدات العادية للتركيز فى تطبيقات معالجة المياه. حيث أن جالون واحد من الماء يزن ٨,٣٤ رطل، ١ جالون/مليون جالون هو نفسه ٨,٣٤ رطل/ مليون جالون. للتحويل من ملجرام/لتر إلى رطل/مليون جالون، اضرب فى ٨,٣٤، للتحويل من رطل/مليون جالون إلى ملجرام/لتر اقسم على ٨,٣٤.

مثال :

محلول مائى حجمة ٥٠٠ سم٣ به ١٢٥ ملجرام ملح مذاب. قدر تركيز هذا المحلول (أ) بالملجرام/لتر، (ب) بالجزء فى المليون، (جـ) حبيبة فى الجالون، (د) نسبة مئوية، (هـ) رطل/ مليون جالون.

الحل :

(أ) (١٢٥ملجرام ÷ ٥٠٠سم٣) × ١٠٠٠سم٣/لتر = ٢٥٠ ملجرام/لتر

(ب) ٢٥٠ ملجرام/لتر = ٢٥٠ جزء فى المليون.

(جـ) ٢٥٠ ملجرام/لتر × (١ حبيبة فى الجالون ÷ ١٧,١ ملجرام/لتر) = ١٤,٦ حبيبة فى الجالون.

(د) باستخدام المعادلة السابقة وأن ٥٠٠سم٣ من الماء كتلتها ٥٠٠ جرام

.. النسبة المئوية = ٠,١٢٥ جرام ÷ (٥٠٠ جرام × ١٠٠) = ٠,٠٢٥% أو اقسم ٢٥٠ ملجرام/لتر ÷ ١٠٠٠٠ لتحصل على ٠,٠٢٥%.

(هـ) ٢٥٠ ملجرام/لتر × ٨,٣٤ = ٢٠٩٠ رطل/مليون جالون.

مثال :

كم عدد الأرطال من غاز الكلور يلزم إذابتها فى ٨ مليون جالون من الماء للحصول على تركيز ٠,٢ ملجرام/لتر؟

الحل :

٠,٢ ملجرام/لتر × ٨,٣٤ = ١,٦٧ رطل/ مليون جالون.

و ١,٦٧ رطل/ مليون جالون × ٨ مليون جالون = ١٣ رطل.

الأحماض، القلويات، الرقم الهيدروجينى Acids, Bases, and pH

الحامض هو المادة التى تسبب زيادة فى تركيز أيون الهيدروجين (H^+) فى المحلول المائى. المادة التى تسبب زيادة فى تركيز أيـون الايدروكـسيد (OH-) تـسمى قلويـة. الأحماض والقلويات يمكن أن يتصفا بالقوة أو بالضعف (Strong or Weak)، طبقاً لدرجة زيادة التركيز لـ (H^-) أو (OH^-). حامض الهيدروكلوريك (HCl) كمثال للحامض القـوى حيث يتحلل بسرعة فى الماء، مكوناً أيونات (H^+) , ($Cl^`$) فى الماء، تركيز ($H^+$) فى الماء يزداد كثرة. أيدروكسيد الصوديوم (NaOH) هو مثال للقلوى القوى الـذى يتحلـل إلـى ($Na^+$) , ($OH^`$)، ويزيد كثيراً تركيز ($OH^`$)tn hglhx . المادة القلوية مثل NaOH تـسمى كذلك مادة قاعدية.

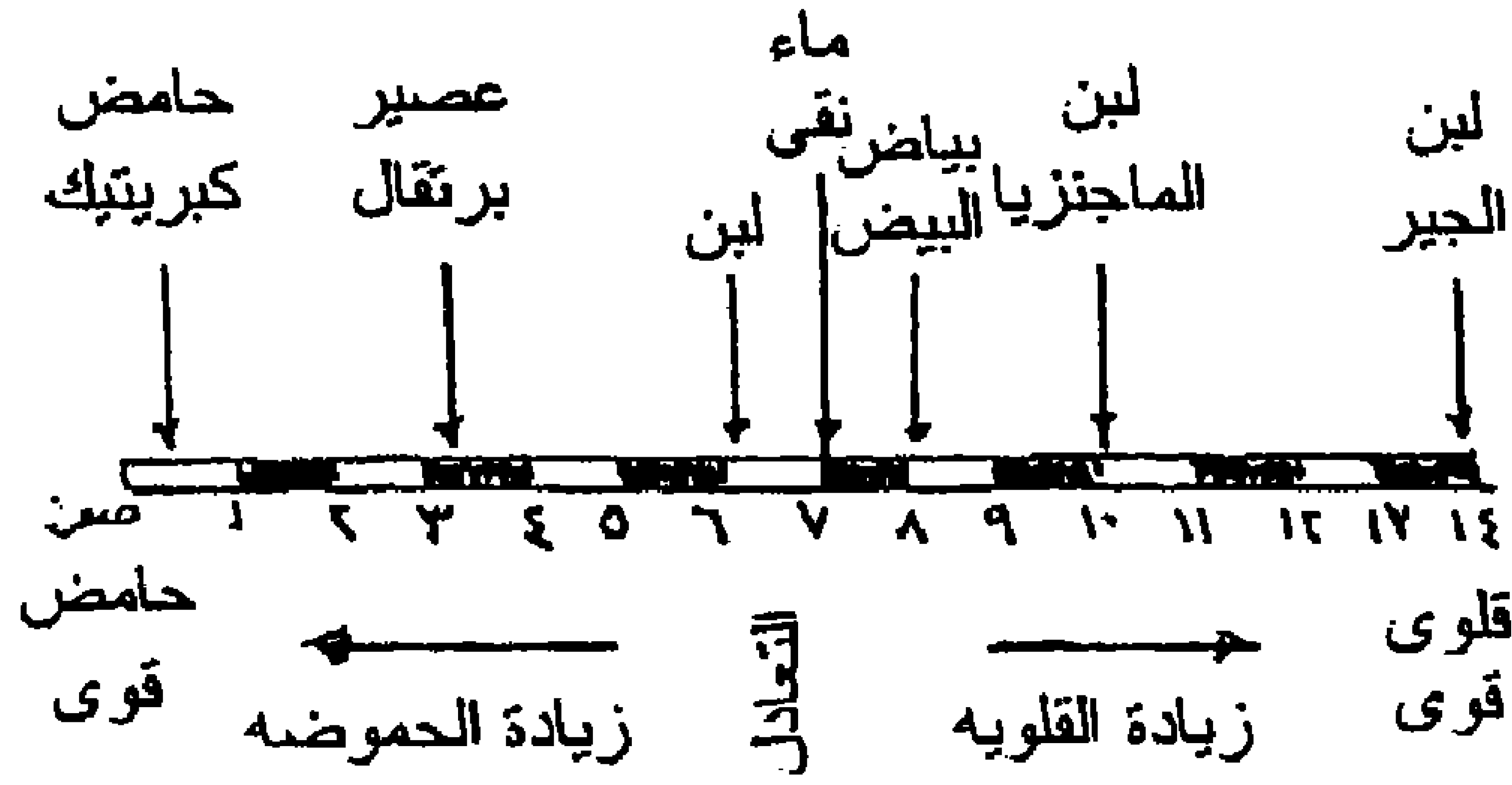
التفاعل الكيماوى بين الحامض والقلوى يسمى التعادل. نواتج تفاعل التعادل هما الملح والماء. ملح الطعام كمثال، هو نتيجة تفاعل التعادل بين حـامض الهيـدروكلوريك HCl وايدروكسيد الصوديوم (NaOH) كالآتى :



$$HCl + NaOH \longrightarrow NaCl + H_2O$$

معيار الرقم الهيدروجينى : (The pH Scale)

الرقم الهيدروجينى هو الرقم الذى يبين شدة الحموضة أو القلوية. يتـراوح مقيـاس الرقم الهيدروجينى من صفر حتى ١٤. متوسط التدريج pH = ٧، يمثل المحلول المتعادل، أو ذلك الذى ليس حامض أو قلوى. الماء النقى متعادل لأنه يحتوى على نفس العدد لكـل من أيون الهيدروجين (H^+) وأيون الأيدروكسيد ($OH^`$). المحاليل ذات رقم هيـدروجينى أقل من ٧ تكون حامضية وتلك ذات الرقم الهيدروجينى أكبر من ٧ تكون قلوية (قاعدية). الشكل (٢/٧) يوضح هذا التدريج مع الوضع النسبى لبعض المواد المألوفة.



شكل (٢/٧) مقياس الرقم الهيدروجينى (pH) لتوضيح قوة المحلول الحامضى أو القلوى. الرقم الهيدروجينى (٧) متعادل، ليس حامضى أو قلوى

كما يعرف الرقم الهيدروجينى بأنه اللوغاريتم السالب لتركيز أيون الهيدروجين. فمثلاً فى حالة الماء النقى تكون القيمة الرقمية لتركيز أيون الهيدروجين هى $١٠^{-٧}$. اللوغاريتم هو -٧، وسالب هذا هو ٧.

نظراً لأن الرقم الهيدروجينى مبنى على اللوغاريتم للأساس ١٠، فإن كل تغير فى الرقم الهيدروجينى يمثل عشرة أضعاف التغير فى درجة الحموضة أو القلوية للمحلول. فمثلاً، محلول له رقم هيدروجينى = ٥ يكون له عشرة أضعاف حموضة زائدة عن محلول له رقم هيدروجينى = ٦. وبالمثل محلول له رقم هيدروجينى = ٤ يكون ١٠٠ ضعف أكثر حموضة عن محلول له رقم هيدروجينى = ٦.

المواد العضوية : (Organic Substances)

الخواص المحددة للمركب العضوى هى أنه يحتوى على الكربون متحداً مع عناصر أخرى مثل الهيدروجين، الأكسجين، النيتروجين، الفوسفور، والكبريت. كل الكائنات الحية تتكون من مركبات عضوية، بعضها يكون معقداً فى التركيب الجزيئ حتى أنه لازال غير معروفاً لدى العلماء.

مئات الآلاف من الكيماويات العضوية معروف وجودها. كثيراً منها يوجد فى الطبيعة، فى أنسجة الحيوان والنبات وفى المخلفات. مركبات عضوية أخرى تكون مواد مصنعة التى لا وجود لها فى الطبيعة خارج المعامل الكيماوية. السبب الأساسى لوجود هذا الكم الكثير من المركبات العضوية سواء الطبيعية أو المخلقة هو أن ذرة الكربون تتحد بسرعة مع ذرات كربون أخرى وعناصر أخرى مرتبطين مع بعضها فى شكل تسلسل طويل أو فى شكل حلقات.

المركبات العضوية التي تحتوي على الكربون والهيدروجين تسمى الهيدروكربونات (Hydrocarbons). أبسط أنواع الهيدروكربونات هو غاز الميثان (CH_4)، وهو غاز عند درجة الحرارة العادية والضغط العادي. وينتج أثناء تحلل مركبات عضوية أخرى مثل الموجودة في حمأة الصرف الصحي أو في القمامة.

أبسط الهيدروكربونات الحلقية هي البنزين (C_6H_6) حيث ترتبط ذرات الكربون مع بعضها لتكوين حلقة ذات شكل سداسي. البيوتين (Butane) هو مثال لجزئ الهيدروكاربون بالتسلسل المستقيم (Straight - Chain Hydrocarbon). المخطط الذي يوضح التركيب الجزيئ للميثان والبنزين والبيوتين موضح في الشكل (٢/٨).

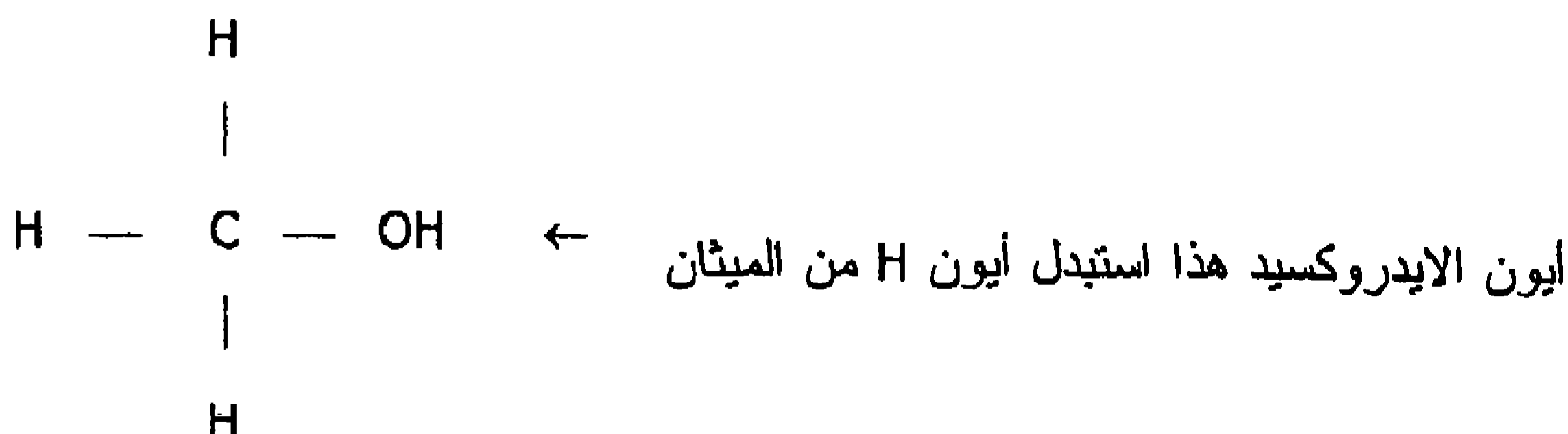
الأسم	الرمز الكمياوي	التركيب الجويئي
الميثان	CH_4	H – C(–H)(–H) – H
البنزين	C_6H_6	حلقة سداسية من ست ذرات كربون بروابط مفردة ومزدوجة متبادلة، ترتبط كل ذرة منها بذرة H
البيوتين	C_4H_{10}	H – C – C – C – C – H (ترتبط كل ذرة كربون بذرتي H من أعلى وأسفل)

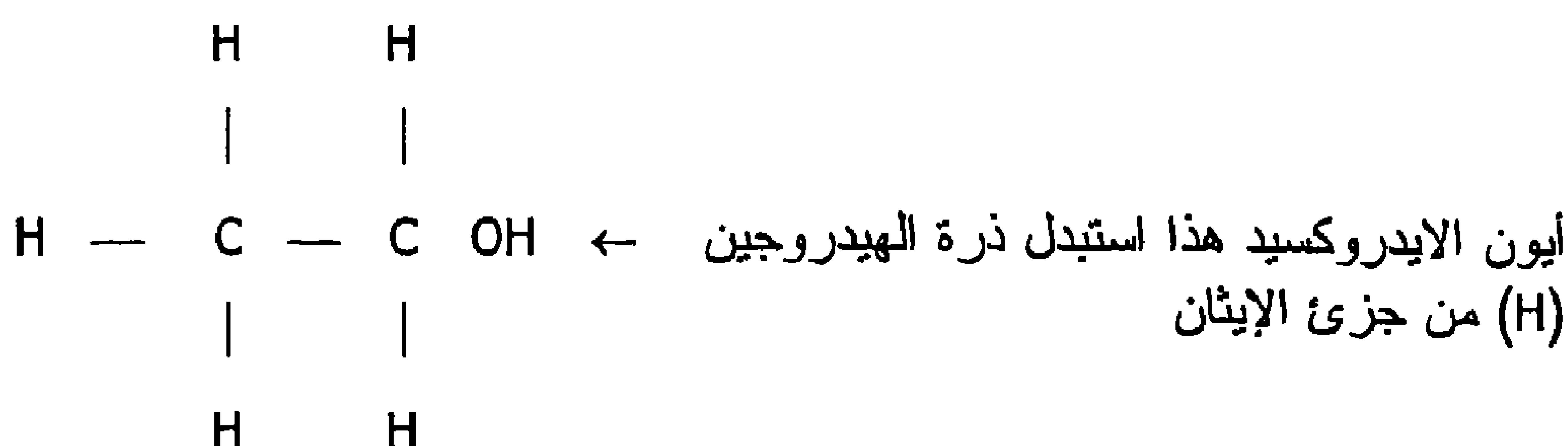
شكل(٢/٨) مخطط البناء الذرى لثلاث مركبات عضوية تسمى الهيدروكربونات

بالإضافة إلى قدرة ذرات الكربون على الاتحاد مع بعضها البعض، مكونة حلقات أو سلاسل ذات أطوال مختلفة، فإن مجموعات مختلفة من الذرات يمكن أن تحل محل ذرات الهيدروجين بسرعة في الهيدروكربونات وهذا سبب آخر لوجود عدد كبير جداً من المواد العضوية.

التقسيم للكيماويات العضوية المختلفة يتوقف على ما هي المجموعات المعنية من الذرات التي تستبدل الهيدروجين. الكحولات (Alcohols) كمثال، تتكون عند استبدال ذرات

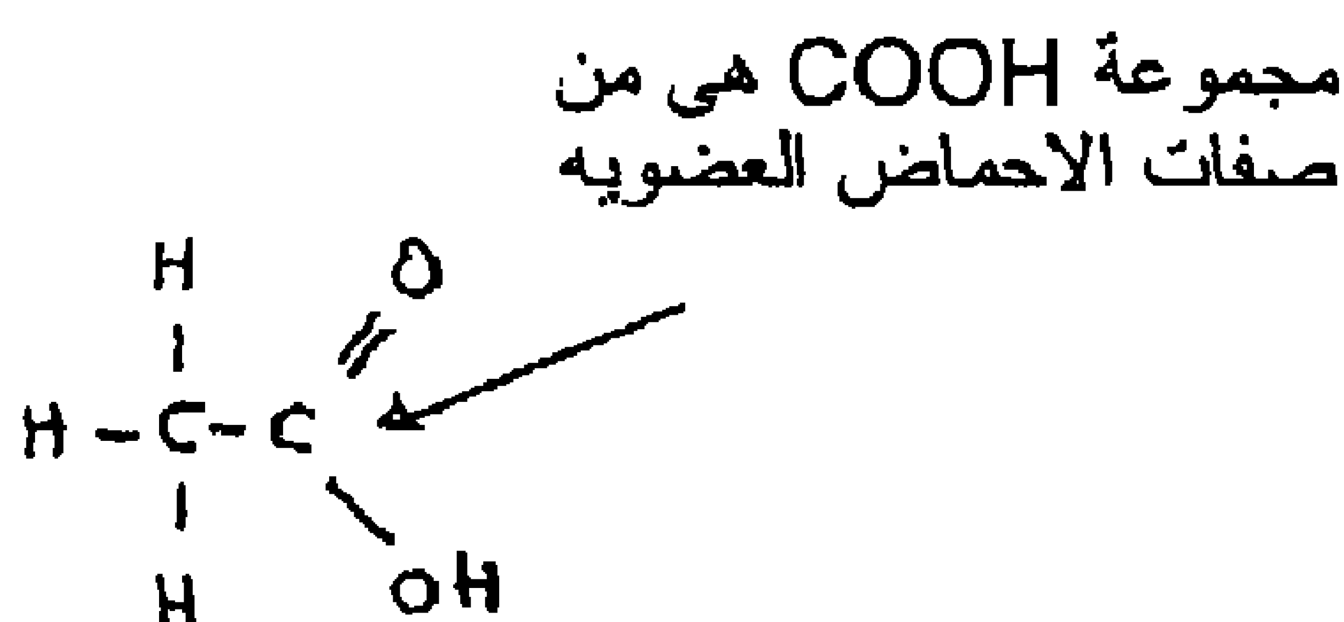
الهيدروجين بمجموعات الإيدروكسيد. الميثانول (CH_3OH) هو مثال للكحول المستخدم فى المذيبات وإضافات الوقود. بناؤه الذرى موضح فى الشكل (٢/٩). الإيثـانول (C_2H_5OH) هو كحول ناتج عن تخمر السكر ويوجد فى المشروبات الكحولية. أكسدة الكحول يمكن أن تنتج مركبات عضوية تسمى ألدهايدز وكيتونز (Aldhydes , Ketones).





شكل (٢/٩) البناء الجزيئى لنوعين من الكحولات مختلفين الميثانول والأيثانول. مجموعة OH^- استبدلت ذرة H فى كلا النوعين.

تتكون الأحماض العـضوية عنـد اسـتبدال مجموعـة الكاربوكـسيل (COOH -) للهيدروجين في الهيدروكاربون. حامض الأسيتيك (الخليك) الموجود فى الخل هو مثـال للحامض العضوى. وهو موضح فى الشكل (٢/١٠).

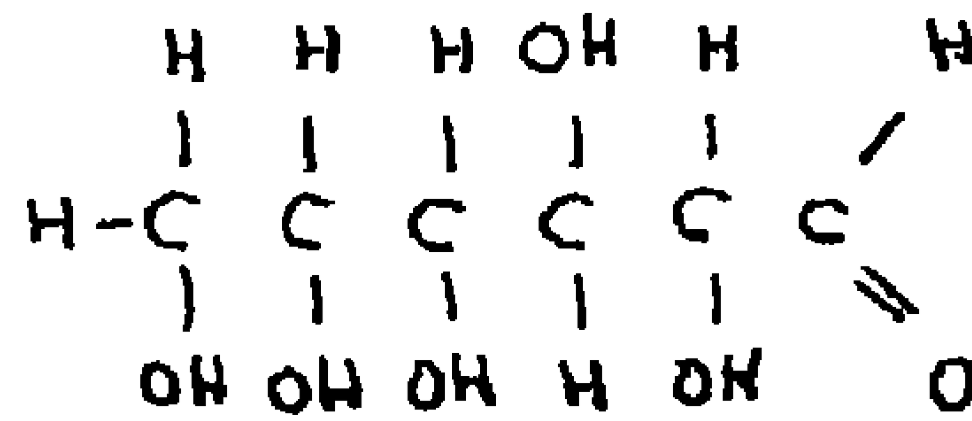


شكل (٢/١٠) البناء الجزئى لحامض الاسيتيك يوجد فى الخل

كثير من المواد العضوية تكون قابلة للتحلل البيولوجيي (Biodegradable) وهذا هو المصطلح للتعبير عن المواد التى يمكن أن تستخدمها الكائنات الحيــة الدقيقــة كغــذاء، جزيئات المواد العضوية القابلة للتحلل البيولوجي تتفتت بسرعة إلـــى جزيئـــات أصـــغر وأبسط بفعل الأداء البيولوجى.

الكربوهيدريتز هى من أكثر مجموعات المركبات العضوية القابلة للتحلل البيولوجي وفرة وهى تسمى أحياناً وقود الحياة (Fuel of Life). وهى المنتجات الأساســية لعمليــة التمثيل الضوئى فى النبات. التمثيل الضوئى (Photosynthesis) هو العملية التــى بهــا تتحول الطاقة الشمسية إلى الشكل الذى يمكن استخدامه بواسطة الكايئات الحية.

جزئيات الكربوهيدريت تتكون من عناصر الكربون، الهيدروجين، الأكسجين. يوجد الهيدروجين والأكسجين دائماً بنفس النسب كما فى الماء أى بنسبة اثنين إلى واحد. ســكر الجلوكوز هو مثال للهيدروكاربون البسيط. وزنه الجزيئى موضح فى الشكل (٢/١١).



شكل (٢/١١) البناء الجزيئى للسكر الذى يسمى الجلوكوز $C_6H_{12}O_6$

السكروز (Sucrose) وهو السكر العادى هو كربوهيدريت تكون باتحــاد الجلوكــوز وسكر آخر يسمى الفركتوز (Fructose). النشا والسيليلوز هى كربوهيدرات أكبر وأكثــر تعقيداً والتى ليست قابلة للتحلل البيولوجى مثل المواد السكرية البسيطة. الســليليوز هــو المادة الأساسية فى النبات.

الدهون هى مركبات عضوية قابلة للتحلل البيولوجى وهى تتكون من ذرات الكربون والهيدروجين والأكسجين. رغم أنها جزيئات هامة لحفظ الطاقة إلا أنها ليــست شــديدة الذوبان فى الماء، وتتحلل بمعدل بطئ. البروتينات (التى تتكون من الأحماض الأمينيــة) هى أكثر تعقيداً عن الكربوهيدرات أو الدهون، وهى تكون المادة الأساسية فــى أنــسجة الحيوان. بالإضافة إلى الكربون، الأكسجين الهيدروجين فإن البروتينات تحتــوى علــى النيتروجين والكبريت.

قاعدة الميزان المادى : (Concept of Material Palance)

القاعدة العلمية الأساسية هى قانون بقاء المادة. وهذا يعنى أنه عندما لا يكون هناك تحول للمادة إلى طاقة، فإن مجموع كتل المواد التى تدخل التفاعل يجب أن يساوى دائماً مجموع كتل المواد الناتجة من التفاعل، حتى فى حالة عدم حدوث تفاعل كيماوى، قانون بقاء المادة يختص بقاعدة الميزان المادى وهو مفيد فى تكنولوجيا البيئة.

حسابات الميزان المادى لها دور هام فى تصميم وتشغيل عمليات المعالجة للمياه، مياه الصرف الصحى، المخلفات الصلبة. فى نظم المعالجة، تتم العمليات الطبيعية والكيماوية والبيولوجية فى أوعية أو خزانات تسمى المفاعلات (Reactors)، والعمليات أو التفاعلات المعنية تسمى (Unit Processes). فى أبسط الحالات، يمكن القول أن المدخلات يجب أن تساوى المخرجات، أو بمعنى آخر ما يدخل يجب أن يخرج. إذا لم يحدث هذا، فإنه يكون هناك تراكم للمادة فى المفاعل يساوى الفرق بين المدخلات والمخرجات، أو التراكم = المدخلات – المخرجات. حيث أنه فى مثل هذه الحالة فإن مكونات المادة فى المفاعل تتغير مع الوقت، فإنها توصف بأنها عملية فى حالة غير ثابتة (Unsteady - State Operation). فى العملية ذات الحالة الغير ثابتة يمكن فرضيه أن معدلات المدخلات والمخرجات تكون ثابتة، كما فى مكونات مفاعل الخلط الكامل.

فمثلاً، بفرض ماسورتان يحتويان على محاليل ملحية يصبان فى خزان الذى يتم فيه الخلط الكامل للمحاليل، وماسورة أخرى ثالثة تحمل المحلول خارج الخزان (كما فى الشكل ٢/١٢). المحلول فى الماسورة الأولى له تركيز C1 ملجرام/لتر وفى الثانية التركيز C2 ملجرام/لتر. معدل التدفق فى الماسورتين هو Q1 , Q2 على التوالى. قاعدة الميزان المادى يمكن تطبيقها لتعيين تركيز المحلول المخلوط الذى يتم صرفه من الخزان لأنه تحت ظروف حالة الثبات، فإن الكمية الكلية للملح الداخل إلى الخزان يجب أن تساوى الكمية الكلية التى تترك الخزان. بمعنى آخر، نظراً لأن الملح لا يتآكل أو يتفاعل مع مادة أخرى (فى هذا المثال)، فإن تركيز الملح فى المخلوط فى الخزان يظل ثابتاً مع الوقت.

ناتج التركيز وحجم معدل التدفق يساوى معدل تدفق الكتلة لأن المليجرام/لتر × اللتر/اليوم = الملجرام/ اليوم، حيث معدل تدفق الحجم فى هذا المثال يعبر عنه باللتر فى اليوم، أو (L/d). بفرض أن الفترة الزمنية هى واحد يوم. عندئذ ناتج $Q \times C_1$ يجب أن يساوى كتلة الملح الداخل إلى الخزان فى يوم واحد من الماسورة الأولى. وبالمثل $Q_2 \times C_2$ تساوى

كتلة الملح الداخل إلى الخزان فى اليوم الواحد أى المدخلات يجب أن يكون مساويا للمجموع من الماسورتين أو المدخلات =

$$Q_2 \times C_2 + Q_1 \times C_1$$

إجمالى الكتلة للملح الذى يترك الخزان تساوى مجموع التركيز فى الخليط C3 ومعدل التدفق الحجمى الذى يترك الخزان. نظراً لأن الماء غير قابل للانضغاط، لذلك فإن معدل التدفق هذا يجب أن يساوى Q2 + Q1. لذلك المخرجات من الملح تكون x (Q1 + Q2) C3.

حيث أن قاعدة الميزان المادى تنطبق هنا وأن المدخلات = المخرجات فإنه يمكن الحصول على العلاقة الآتية :

$$C_3 \times (Q_1 + Q_2) = C_1 \times Q_1 + C_2 Q_2$$

عند حل هذه المعادلة بالنسبة لـ C3 وذلك بتسمية كلا الجانبين على (Q1 + Q2) فإننا نحصل على الميزان المادى التالى.

$$C_3 = C_1 \times Q_1 + C_2 \times Q_2 \div Q_1 + Q_2$$

حسابات الميزان المادى يمكن تطبيقها فى نظم البيئة الطبيعية مثل المجارى المائية والأنهار والبحيرات وحتى الغلاف الجوى. أمثلة لهذه التطبيقات موضحة فى البند الخاص بتلوث المجارى المائية.

٢- المعايير الطبيعية لنوعية المياه :

(Physical parameters of Water Quality):

المعايير المستخدمة عادة لوصف النوعية الطبيعية للمياه هى العكارة، درجة الحرارة، اللون، المذاق، الرائحة.

العكارة : (Turbidity)

عند وجود أجسام صغيرة عالقة فى الماء، فإنها تميل إلى التشتت وامتصاص أشعة الضوء. وهذا يعطى للماء شكل العكارة، وهذا ما يسمى بالعكارة الطفل، مواد التربة، الأجسام الصغيرة من المواد العضوية والكائنات الميكروبية هى بعض المواد المسببة للعكارة. وهذه توجد فى المياه طبيعياً أو بسبب الأنشطة الآدمية والتلوث.

العكارة هى من المعايير الهامة وخاصة لنوعية مياه الشرب. الأجسام العالقة يمكن أن توفر أماكن اختفاء للكائنات الحية الصغيرة وبذا تحمى هذه الكائنات من عمليات التطهير فى محطة معالجة المياه. بسبب تأثير هذه الحماية فإنه يمكن ابتلاع الميكروبات أثناء شرب المياه حيث تكون النتيجة انتشار المرض.

كذلك فإن العكارة غير مرغوبة فى مياه الشرب لأسباب عدم القابلية والاستساغة وعدم الرغبة فى شربه. حتى أن الدرجة المنخفضة جداً من العكارة تجعل الماء مرفوضا. حتى فى حالة تأكيد أن الماء آمن للشرب رغم وجود العكارة، فإنه عادة يتم البحث عن مصدر آخر (والذى من المحتمل أن يكون بنوعية متدنية وأن كان خالى من العكارة).

تقاس العكارة بالوحدات المرتبطة بنقاء وشفافية عينة الماء بالنسبة للعالق القياسى للسيليكا. التداخل فى مرور الضوء بسبب العالق لواحد مليجرام/ لتر من السليكيا يكافئ وحدة عكارة واحدة (One Turbidity Unit) – (TU). فمثلاً عينة الماء التى لها نفس درجة العكارة مثل ١٠ ملجرام/لتر من عالق السيليكا لها عكارة ١٠ وحدة (10 TU).

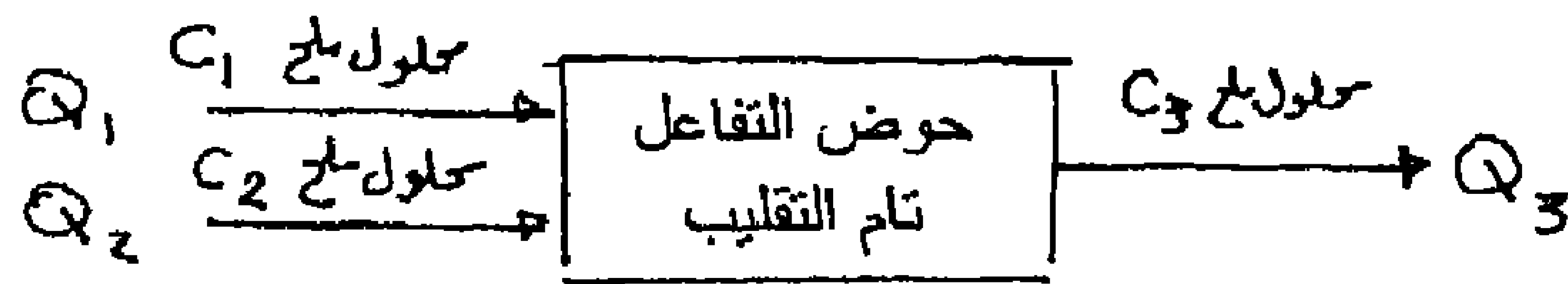
لتقدير بيانات العكارة، يكون من المفيد معرفة مجالات العكارة التى تحدث، العكارة أزيد من ٥ وحدات (5 TU) تلاحظ بواسطة الشخص المتوسط، معظم الناس لا يشتكون عن شفافية المياه عند درجة عكارة أقل من ٥ وحدات. العكارة حيث يرى معظم الناس أن البحيرة رائقة يمكن أن تكون مرتفعة حتى ٢٥ وحدة. فى المياه الحاملة للطمى عادة تزداد العكارة عن ١٠٠ وحدة. محطات المعالجة الجيدة يمكن أن تنتج مياه نقية بللورية ذات عكارة أقل من واحد (1 TU).

المياه الجوفية عادة تكون ذات عكارة منخفضة جداً بسبب الترشيح الطبيعى الذى يحدث عند تسرب المياه خلال التربة. معظم المجارى والأنهار بها عكارة نسبية عالية. وهذا يكون بالتحديد بعد فترة سقوط الأمطار والتى تسبب برى للتربة. معالجة المياه العكرة من المجارى السطحية لإمدادات الشرب يمكن أن تكون عملية مكلفة، حيث زيادة العكارة تتطلب زيادة الكيماويات المطلوبة وكذلك زيادة معدلات نظافة المرشحات.

بالنسبة لمياه الشرب، تستخدم أجهزة قياس تسمى النيفيلوميترز (Nephelometers) لقياس العكارة بعد التنقية. هذه التجهيزات تقيس كمية الضوء المشتت إلكترونيا ولا تعتمد على رؤية الإنسان أو القياس بعوالق قياسية. القياسات التى تتم بأجهزة قياس العكارة النيفيلومترية (Nephelometric Turbudimeters) يمكن التعبير عنها بالرمز (NTU) بدلاً

من TU، لتوضيح كيفية عمل القياس. العكارة في مياه الشرب المرشحة يجب أن تساوى أو تقل عن ٠,٥ وحدة نيفيلومترى (0.5 NTU) فى ما لا يقل عن ٩٥% من العينات المختبرة كل شهر.

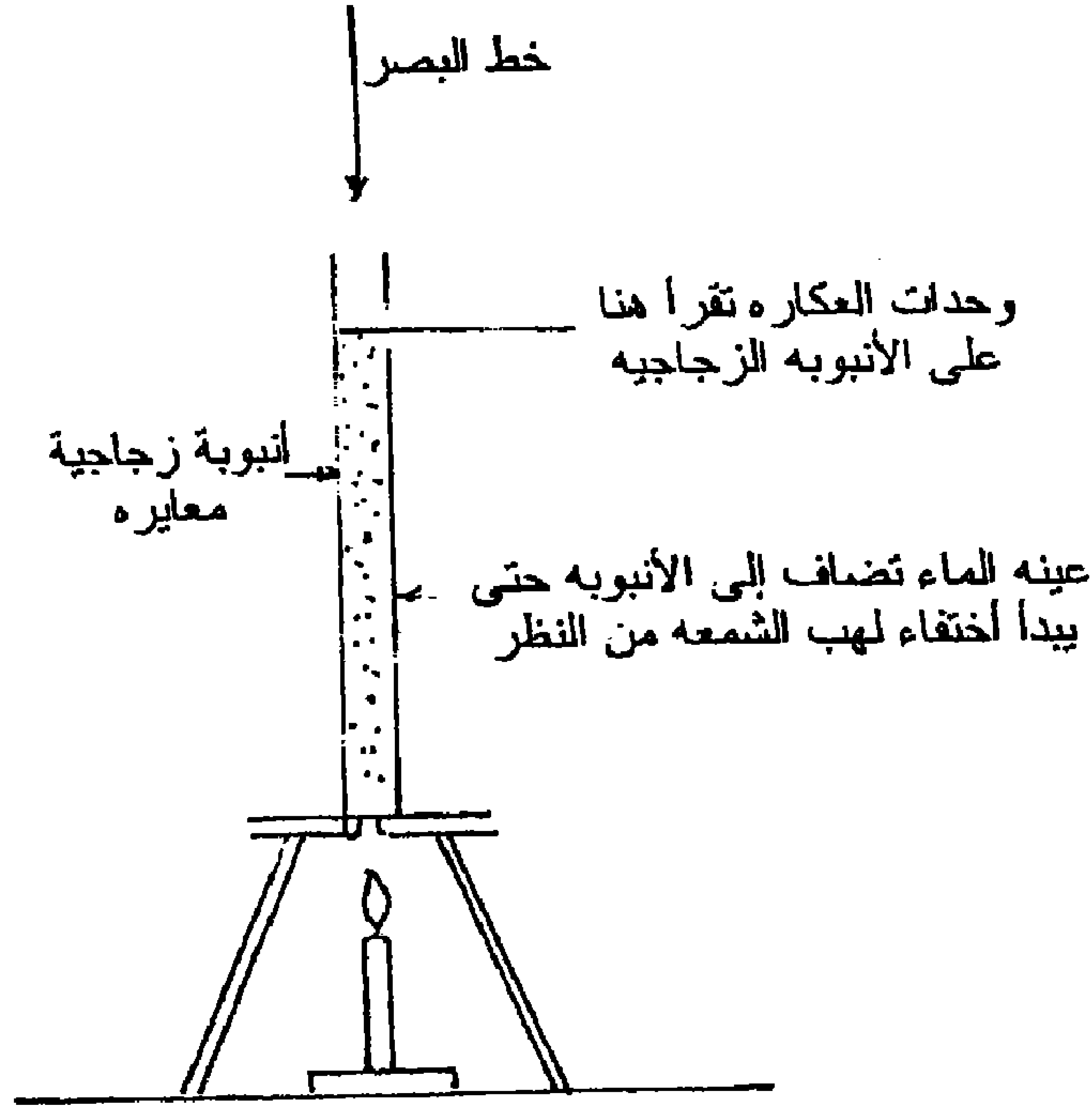
جهاز قياس العكارة التقليدى شمعة جاكسون (Jackson Candle Turbidemer) يمكن استخدامه لقياس عكارة المياه العكرة (الغير معالجة) موضح الشكل (٢/١٣). يتم إضافة الماء فى أنبوب زجاجية رأسية حتى مجرد اختفاء لهب الشمعة من النظر. الأنبوبة الزجاجية مدرجة بوحدات عكارة، كلما زاد ارتفاع عامود الماء اللازم لإخفاء الشعلة، كلما قلت العكارة. قيم العكارة التى يتم الحصول عليها باستخدام جهاز قياس العكارة بشمعة جاكسون يعبر عنها بالرمز (JTU). زيادة العكارة فى البحيرة يقلل العمق الذى يخترقه الضوء فى الماء. ذلك له تأثير على عملية التمثيل الضوئى للكائنات النباتية الدقيقة، أو الطحالب وكذلك على كل الاتزان البيئى للبحيرة. فى عمليات المباحث الحقلية يمكن استخدام أقراص (Sm,all White Secchi Disks) وإنزالها فى الماء بحبل مدرج بالأمتار حتى اختفاء القرص من النظر. عمق القرص عن تلك النقطة يمكن مضاهاته بعكارة ماء البحيرة.



شكل (٢/١٢) مخطط للميزان المادى. كتلة الملح الكلية الداخلة إلى الحوض يجب أن تساوى كتلة الملح الكلية التى تخرج من الحوض على الجانب الأيمن. إذا كان تركيز المحلول ومقدار معدل التدفق معلوماً فى الماسورة ١، ٢ فإن تركيز الملح فى الماسورة رقم

(٢) يمكن حسابه باستخدام معادلة الميزان المادى.

$$Q_3 = Q_1 + Q_2$$



شكل (٢/١٣) مقياس العكارة بالشمعة

درجة الحرارة :

الأسماك والكائنات المائية الأخرى تحتاج إلى حالات معينة من درجة الحرارة لتعيش ولتتكاثر، أقصى درجة حرارة لسمك السلمون كمثال هو ١٥ °م، درجة حرارة ٢٤ °م هى أفضل درجة حرارة للفرخ وهو نوع من السمك النهرى، كما أن سمك الشبوط النهرى يعيش فى الدفئ عند ٣٢ °م، والتى هى أكثر من ضعف درجة الحرارة المفضلة لسمك السلمون (سمك الماء البارد).

معظم الأجناس يمكن أن تتأقلم للتغير المتوسط من درجة الحرارة القصوى لها. ولكن فى حالة زيادة التغير فإن الكائنات الحية سوف تلجأ إلى مكان آخر أو تهاجر، عموماً التغير فى حدود 5°م يمكن أن يغير الاتزان الصحى للبيئة المائية. الانخفاض المفاجئ فى درجة الحرارة يمكن أن يكون مؤذياً، ولكن عادة الزيادة فى درجة الحرارة سوف تسبب تلفاً أكثر عن انخفاضها (لذلك فإنه يلزم حماية الأنهار من صرف المياه الساخنة من محطات الطاقة).

السبب الأساسى فى هذا، كما سبق مناقشته هو أن إذابة الأكسجين فى الماء تخفض بشكل ملحوظ مع ارتفاع درجة حرارة الماء، الأسماك والكائنات الأخرى تحتاج إلى

الأكسجين لتعيش. زيادة درجة الحرارة تزيد معدل الأيض (Metabolism – وهو مجموع العمليات المتصلة ببناء البروتوبلازم ودثورها وبخاصة التغيرات الكيماوية في الخلايا الحية). بمعنى آخر معدل استخدام الكائن للأكسجين لحرق الغذاء للطاقة يزداد عند درجات الحرارة العالية. التأثير المشترك لهذا حيث النقص في الأكسجين والمعدل العالي لأيض الكائنات يمكن أن يكون مدمراً.

بالإضافة إلى أن مياه الشرب المرغوبة هي المياه الباردة، إلا أن درجة الحرارة لها تأثير قليل في إمدادات مياه الشرب، ولكن درجة الحرارة تقوم بدور كبير في معالجة مياه الصرف وحماية المياه من التلوث. نظم المعالجة البيولوجية لمياه الصرف تزداد كفاءتها عند درجات الحرارة المرتفعة. في المناطق الباردة، يتم احتواء محطات المعالجة في أغطية يتم تسخينها للمحافظة على استمرار أقصى مجال مناسب لدرجة الحرارة (حوالي ٣٧ °م).

اللون، المذاق، الرائحة :

اللون، المذاق، الرائحة هي خواص طبيعية لمياه الشرب حيث لها أهمية بالنسبة لاستساغة المياه للشرب، وهذه ليس لها أي تأثير ضار مباشر على الصحة، ولكن مهما كانت المياه آمنة للشرب إلا أن وجود اللون والمذاق أو الرائحة يجعلها غير مقبولة.

اللون يمكن أن يكون بسبب الجسيمات الغروية المذابة أو العالقة، أساساً من بقايا تآكل الأوراق والنباتات المجهرية. وهذا يجعل لون المياه يميل إلى اللون البني المصفر. المجاري المائية أو الأنهار ذات الروافد في مناطق المستنقعات يمكن أن يكون بها هذه المشكلة. يتم قياس اللون بمقارنة عينة الماء بمحلول لون قياسي أو أقراص زجاج ملونة. وحدة اللون تكافئ اللون الناتج من واحد ملجرام/لتر من محلول البلاتين. إن عزل ومعرفة كيماويات معينة المسببة للون يعتبر إجراء غير عملي.

غاز كبريتيد الهيدروجين هو السبب العادي للرائحة في إمدادات المياه، رائحة البيض الفاسد لهذا الغاز يمكن وجودها في المياه التي التصقت مع رواسب طبيعية من مواد عضوية متحللة. أحياناً إمدادات المياه الجوفية تكون بها هذه المشكلة، عندئذ تسمى الآبار الكبريتية (Sulphur Wells).

تقاس الرائحة وتقيم طبقاً لرقم بداية الرائحة (Thresholdodor No.) وهذا الرقم هو النسبة التي يجب أن يتم بها تخفيف العينة لتصبح الرائحة عديمة الملاحظة. فمثلاً، إذا

كانت عينة من الماء ٥٠سم٣ يجب تخفيفها إلى حجم ٢٠٠سم٣ لتصبح الرائحة ضعيفة الاستكشاف، فإن رقم بداية الرائحة يكون ٢٠٠÷٥٠=٤.

تقنية مشابهة يمكن استخدامها فى مقياس المذاق للمياه، قياسات الرائحة والمذاق تعتمد إلى حد كبير على حساسية الشخص القائم بالاختبار.

٣- المعايير الكيماوية لنوعية المياه :

كثير من الكيماويات العضوية والغير عضوية تؤثر على نوعية المياه. فى حالة مياه الشرب فإن هذه التأثيرات يمكن أن يكون لها علاقة بالصحة العامة أو بالاستساغة أو باعتبارات اقتصادية. فى المياه السطحية، نوعية الكيماويات يمكن أن تؤثر على بيئة الكائنات المائية. كذلك توجد معايير عديدة متعلقة بمياه الصرف. فى هذه البند سيتم مناقشة أهم المعايير الكيماوية لنوعية المياه.

الأكسجين المذاب :

الأكسجين المذاب يعتبر عموماً أحد أهم المعايير لنوعية المياه فى المجارى المائية والأنهار والبحيرات. الأكسجين المذاب يختصر فى شكل (DO) أى (Dissolved Oxygen) مثل ما يحتاج الإنسان لأكسجين الهواء ليتنفس، فإن الأسماك، والكائنات المائية الأخرى تحتاج إلى الأكسجين المذاب فى الماء لتعيش. بالنسبة لكل المواد الأخرى التى كلما قل وجودها فى الماء كلما كانت نوعية المياه أفضل، ولكن العكس فى حالة الأكسجين المذاب. كلما زاد تركيز الأكسجين المذاب فى الماء كلما كانت نوعية المياه أفضل.

الأكسجين قليل الذوبان فى الماء. فمثلاً، تركيز التشبع عند 20°م هو حوالى ٩ ملجرام/لتر أو ٩ جزء فى المليون. بسبب هذه الإذابة الضعيفة فإنه عادة ما توجد منافسة بين الكائنات المائية، بما فيها البكتريا نحو المتاح من الأكسجين المذاب. البكتريا تستهلك الأكسجين بسرعة عالية فى حالة وجود كثير من المواد العضوية فى الماء. بعض أنواع الأسماك تهاجر عند الإحساس بخفض الأكسجين المذاب. العامل الآخر الذى يلزم تذكره هو أن إذابة الأكسجين حساسة جداً لدرجة الحرارة. التغيرات فى درجة حرارة الماء لها تأثير كبير على تركيز الأكسجين المذاب.

الأكسجين المذاب ليس له أى تأثير على الصحة العامة، ولكن شرب المياه التى تحتوى على قليل من الاكسجين أو خاليه من الاكسجين يجعله غير مستساغ من ناحية المذاق. الأكسجين المذاب له دور فى التآكل أو صدأ المواسير المعدنية.

الأكسجين المذاب يستخدم بكثافة فى أجهزة معالجة مياه الصرف – الهواء أو أحيانا الأكسجين المذاب، يتم خلطه مع مياه الصرف الصحى لتنشيط التحلل الهوائى للمخلفات العضوية. دور الأكسجين المذاب في تلوث المياه وفى معالجة مياه الصرف سيتم مناقشته لاحقا.

تركيز الأكسجين المذاب يمكن تحديده باستخدام طرق التحليل الكيماوية القياسية أو باستخدام قياسات قطب الغشاء (Membrone Electode - Meters) فى المعمل أو فى الموقع. أجهزة قياس حقلية يمكن خفضها فى المجرى المائى أو الخزان بواسطة سلك موصل. قطب السلك يستشعر التيارات الكهربية الصغيرة التى تتناسب مع مستوى الأكسجين المذاب فى الماء.

الأكسجين الحيوى الكيماوى المطلوب (Biochemical Oxygen Demand)

البكتيريا والكائنات الصغيرة الحية الأخرى تستخدم المواد العضوية كغذاء مع قيامها بأيض المواد العضوية وتحويلها إلى خلايا فإنها تستهلك الأكسجين، المواد العضوية تتكسر وتتفتت إلى مركبات بسيطة مثل CO_2، H_2O وتستخدم الكائنات الصغيرة الطاقة المنطلقة لتنمو وتتكاثر.

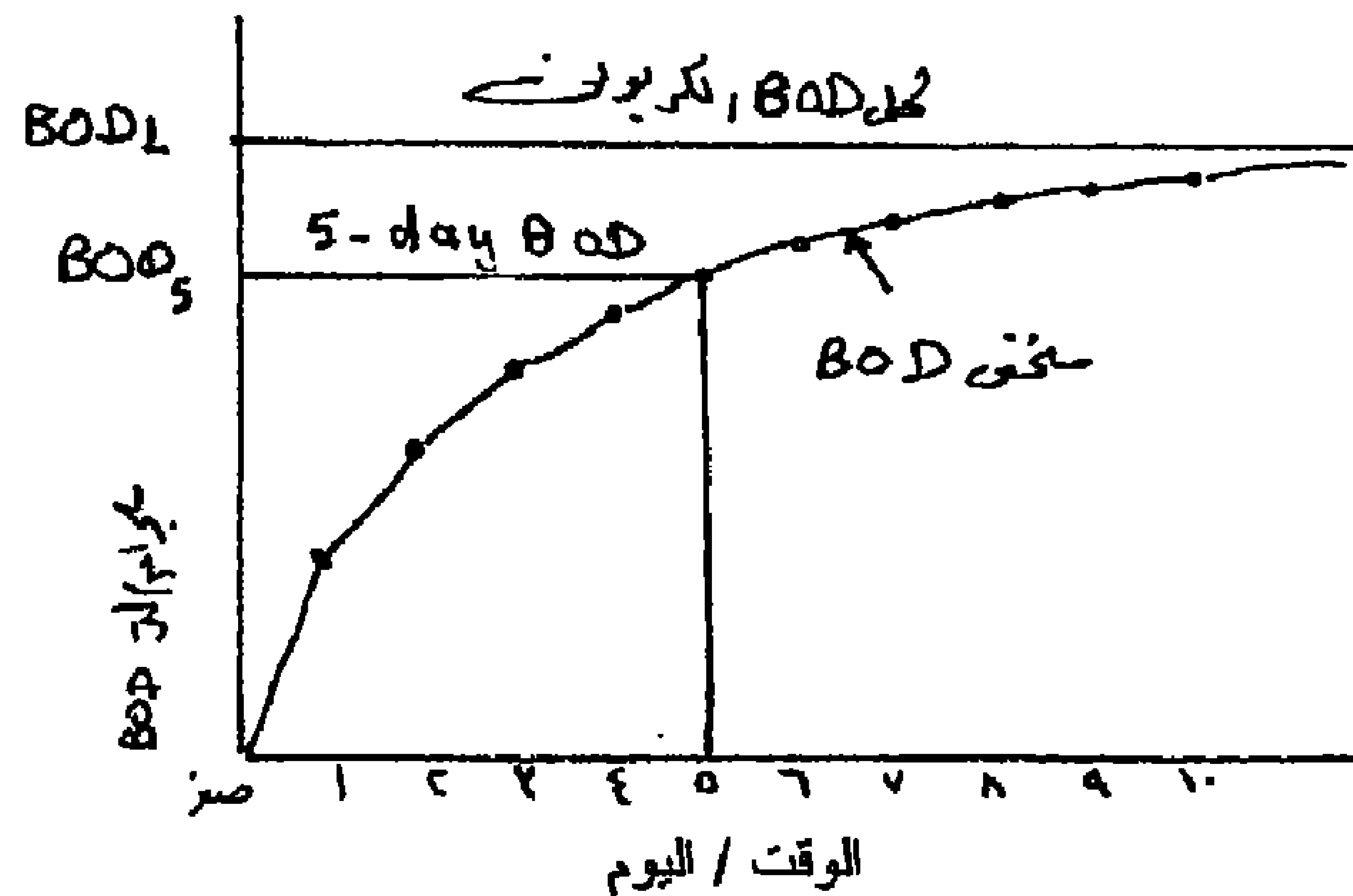
عند حدوث هذه العملية فى الماء، فإن الأكسجين المستنفذ هو الأكسجين المذاب. فى حالة عدم الاستبدال المستمر للأكسجين فى الماء بطرق طبيعية أو صناعية عندئذ فإن مستوى الأكسجين المذاب سينخفض مع تحلل المواد العضوية بفعل البكتريا والكائنات الصغيرة. هذه الحاجة من الأكسجين تسمى الأكسجين الحيوى المطلوب (Biological Oxygen Demand) ويرمز له بالرمز (BOD). الكائنات الصغيرة (أو تسمى أحيانا الميكروبات) تحتاج إلى الأكسجين لاستخدامه فى التفاعلات البيولوجية والكيماوية الذى يحافظ على بقائها، الرمز (BOD) هو من أكثر الرموز المستخدمة فى نوعية المياه فى تكنولوجيا الحد من التلوث.

المخلفات العضوية فى مياه الصرف الصحى هى من الأنواع الرئيسية لتلوث المياه. إن عزل ومعرفة كل نوع معين من المواد العضوية وتعيين تركيزه يعتبر إجراء غير عملى. ذلك فإنه يستخدم الأكسجين الحيوى المطلوب (BOD) كقياس غير مباشر لإجمالى كمية المواد العضوية فى الماء والتى تتحلل بيولوجيا (Biodegradable)< كلما زادت المواد العضوية فى الماء، كلما زدت كمية (BOD) التى تحتاجها الميكروبات. بالإضافة إلى استخدام (BOD) كمقياس لكمية التلوث العضوى فى المجارى السطحية البحيرات

والأنهار فإنه يستخدم كمقياس لتركيز مياه الصرف الصحى. وهو من أهم المعايير لتصميم وتشغيل محطة معالجة مياه الصرف. مياه الصرف المركزة يكون محتواها من المواد العضوية عالياً وبالتالي الأكسجين الحيوى المطلوب (BOD) يكون مرتفعاً. مياه الصرف الصحى الضعيفة التركيز ذات (BOD) منخفض قد لا تحتاج إلى معالجة كثيرة.

التحلل الكامل للمادة العضوية بفعل الكائنات الحية الدقيقة يستغرق وقتاً، عادة حوالى ٢٠ يوما أو أكثر فى الظروف العادية. كمية الأكسجين المستخدمة للتحلل الكامل أو لتثبيت كل المواد العضوية القابلة للتحلل البيولوجي فى حجم معين من الماء تسمى أقصى أكسجين حيوى مطلوب (BOD) أو (BOD1). فمثلاً، إذا كان لتر واحد من مياه الصرف الصحى المنزلى تحتاج إلى ٣٠٠ ملجرام من الأكسجين لإتمام تحلل المواد العضوية، فإن قيمة (BOD1) ستقدر بـ ٣٠٠ ملجرام/لتر. لتر واحد من مياه الصرف من مصنع تصنيع المواد الغذائية قد يحتاج لحوالى ١٥٠٠ ملجرام من الأكسجين للتثبيت الكامل للمخلفات. فى هذه الحالة، قيمة (BOD1) سوف تكون ١٥٠٠ملجرام/لتر، والذى يوضح أن المخلفات أكثر تركيزاً عن مخلفات الصرف الصحى، عموما يعبر عن BOD بقيمة الأكسجين بالملجرام/ فى اللتر.

الأكسجين الحيوى المطلوب هو بدلالة الوقت. عند بداية الاختبار للأكسجين الحيوى المطلوب (BOD)، أو الوقت = صفر، فإنه لا يتم استهلاك أى أكسجين وبالتالى BOD = صفر. مع نهاية كل يوم، يتم استخدام الأكسجين بواسطة الميكروبات ويزداد (BOD). عند وصول (BOD1) إلى أقصاها فإن المواد العضوية يكون قد تم تحللها تماماً. مخطط (BOD) مقابل الوقت له الشكل الموضح فى الشكل (٢/١٤). وهذا يسمى منحنى الأكسجين الحيوى المطلوب.



شكل (٢/١٤) الأكسجين الكيماوى البيولوجي المطلوب أو (BOD) يزداد بالوقت حتى ثبات الملوثات العضوية . قيمة BOD_5 تستخدم للقياس الروتينى والتحاليل.

منحنى (BOD) يمكن تقديره رياضيا، بالمعادلة الآتية :

$BOD_t = BOD_L \times (1- 10^{kt})$ رقم (٢)

حيث :

BOD_t = قيمة BOD عند أى وقت t، بالملجرام/لتر.

BOD_L = أقصى BOD، بالملجرا/لتر.

K = ثابت يمثل معدل تفاعل BOD.

T = الوقت باليوم.

المعدل الذى يتم به استهلاك الأكسجين يعبر عنه بالثابت (k). قيمة هذا المعدل الثابت تعتمد على درجة الحرارة، نوع المادة العضوية ونوع الكائنات الدقيقة المسببة لـ(BOD). بالنسبة لمياه الصرف الصحى العادية وعند درجة حرارة ٢٠ ْم، تكون قيمة (K) عادة حوالى ٠,١٥ فى اليوم.

مثال :

وجد أن عينة مياه الصرف الصحى من أحد المدن لها قيمة BOD بعد خمسة أيام (BOD_5) أنها ١٨٠ ملجرام/لتر. قدر أقصى قيمة (BOD) (BODL) لمياه الصرف. افترض أن K = فى اليوم المياه الصرف الصحى هذه.

الحل : باستخدام المعادلة السابقة.

$$180 = BOD_L \times (1 - 10^{0.1 \times 5})$$

$$= BOD_L \times (1 - 10^{-0.5})$$

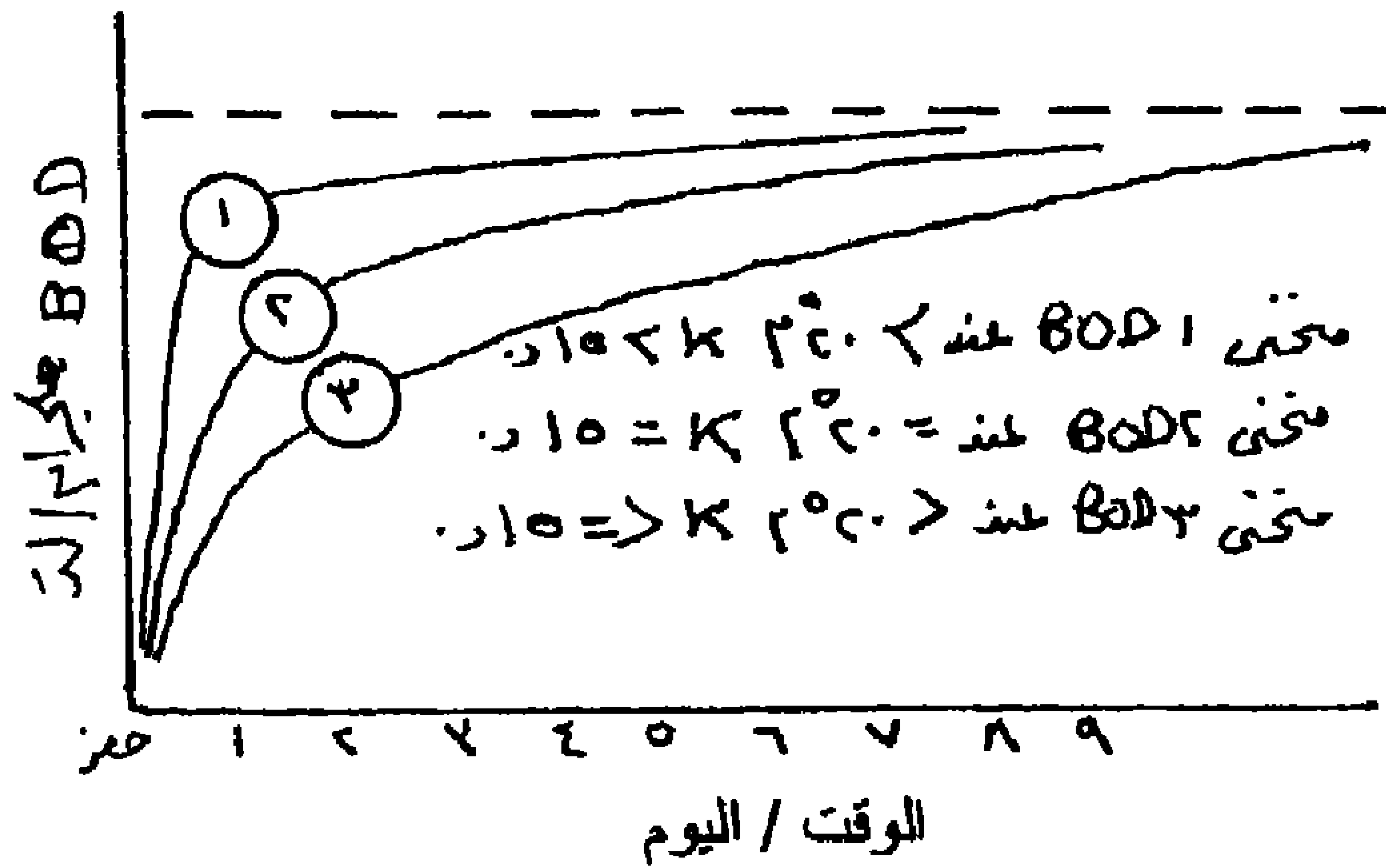
$$= BOD_L \times (1 - 0.316)$$

$$= BOD_L \times 0.68L$$

عندئذ فإن قيمة $BOD_L = 180 \div 0.684 = 260mg/L$.

تأثير درجات الحرارة المختلفة على معدل التفاعل الأكسجين الحيوى (BOD) على شكل منحنى (BOD) موضح فى الشكل (٢/١٥). عند أعلى درجة حرارة تتحلل المواد العضوية بمعدل أسرع، ولكن (BOD_L) وهو أقصى أكسجين مطلوب يظل ثابتا.

الـ٢٠ يوم أو المطلوب لأقصى أكسجين مطلوب يستغرق وقت أطول كثيرا لانتظار النتائج المعملية.



شكل (٢/١٥) معدل تفاعل BOD يتناسب مع درجة الحرارة

وهذه حقيقة عملية عند استخدام بيانات (BOD) لرصد كفاءة محطة معالجة تلوث المياه. لقد وجد أن أكثر من ثلثى (BOD_L) تستهلك عادة خلال الخمسة أيام الأولى من التحلل. فمثلاً، فى المثال السابق فإن BOD فى خمسة أيام (5-d BOD) هو ١٨٠ ÷ ٢٦٠ = ٠,٦٩ أو ٦٨% لأقصى BOD للأغراض العملية، فإن قيمة 5-d BOD أو BOD_5 تم اختيارها كممثل لمحتوى المواد العضوية القابلة للتحلل البيولوجى فى المياه أو فى مياه الصرف. لتثبيت النتائج فإن التجربة يجب أن تجرى عند درجة حرارة 20°م.

بالاختصار فإن المعيار (BOD_5) هو كمية الأكسجين المذاب الذى تستخدمه الكائنات الحية الصغيرة فى خمسة أيام لتحلل المواد العضوية فى الماء عند درجة حرارة 20°م.

قياس (BOD_5) :

الاختبار التقليدى لاختبار الأكسجين الحيوى المستهلك (أو المطلوب) (BOD) يتم فى زجاجات قياسية ذات حجم ٣٠٠سم٣. اختبار BOD لخمسة أيام لعينة الماء يتطلب أخذ قياسين للأكسجين المذاب (DO)، قياس أولى عند بدء الاختبار عند الزمن t = صفر، القياس الثانى عند الزمن t = ٥ (يوم)، بعد تحضين العينة فى الظلام لمدة خمسة أيام عند 20°م. قيمة (BOD5) هى ببساطة الفرق بين القياسين لقيمة الأكسجين المذاب (DO).

فمثلاً، فى حالة عينة المياه من مجرى مائى وجد أن القياس الأولى للأكسجين المذاب كان ٨ ملجرام/لتر. وبعد وضع العينة مباشرة فى زجاجة (BOD) وتحضينها لمدة خمسة أيام عند 20°م. تم تعيين الأكسجين المذاب بعد الخمسة أيام من التحضين فوجد أنه ٤,٥

ملجرام/لتر. عندئذ فإن (BOD) هى كمية الأكسجين المستهلك، أو الفرق بين قرائتي الأكسجين المذاب أى أن BOD5 = ٨ – ٤,٥ = ٣,٥ ملجرام/لتر.

المياه السطحية الرائقة والنظيفة جداً عادة تكون قيمة (BOD5) لها حوالى واحد ملجرام/لتر بسبب وجود المواد العضوية الطبيعية من تآكل الأوراق والمخلفات الحيوانية، ولكن قيمة BOD5 أكثر من ١٠ عادة تكون دلالة لوجود تلوث بفعل مخلفات الصرف الصحى.

عند قياس قيمة (BOD5) للصرف الصحى، يكون من الضرورى تخفيف العينة فى زجاجة BOD. مياه الصرف الصحى المنزلى عادة تكون ذات قيمة (BOD5) حوالى ٢٠٠ ملجرام/لتر. فى حالة عدم تخفيف العينة، فإن كل الأكسجين المذاب سينخفض بسرعة ولا يكون من الممكن الحصول على قراءة الأكسجين المذاب فى اليوم الخامس. حساب قيمة(BOD5)، باستخدام طريقة التخفيف هذه فى زجاجة BOD سعة ٣٠٠سم٣، يتم باستخدام المعادلة التالية :

$$BOD_5 = \frac{(DO_0 - DO_5) \times 100}{V}$$ رقم (٣)

حيث :

DO_0 = الأكسجين المذاب الأولى عند t = صفر.

DO_5 = الأكسجين المذاب عند زمن t = ٥ يوم.

V = حجم العينة سم٣.

مثال :

عينة من مياه الصرف حجمها ٦سم٣ تم تخفيفها إلى ٣٠٠سم٣ بمياه مقطرة فى زجاجة BOD القياسية. تم تعيين الأكسجين المذاب الأولى (DO) ليكون ٨,٥ ملجرام/لتر، والأكسجين المذاب بعد فترة خمسة أيام عند درجة حرارة 20°م حيث وجد أنه ٥ملجرام/لتر. عين قيمة (BOD5) مع فرض أن قيمة k = 0.1 d.

الحل : باستخدام المعادلة

$$BOD_5 = \frac{(DO_0 - DO_5) \times 300}{V}$$

$$\therefore BOD_5 = \frac{(8.5-5)\times 300}{6} = \frac{3.5\times 300}{6} = 105 Mg/L$$

الآن يتم استخدام المعادلة ($BOD_t = BOD_L\ (1 - 10^{-kt})$

$\therefore\ 180 = BOD_L\ (1 - 10^{-0.1\times 5})$

$$\therefore BOD_L = \frac{180}{0.684} = 260 Mg/L$$

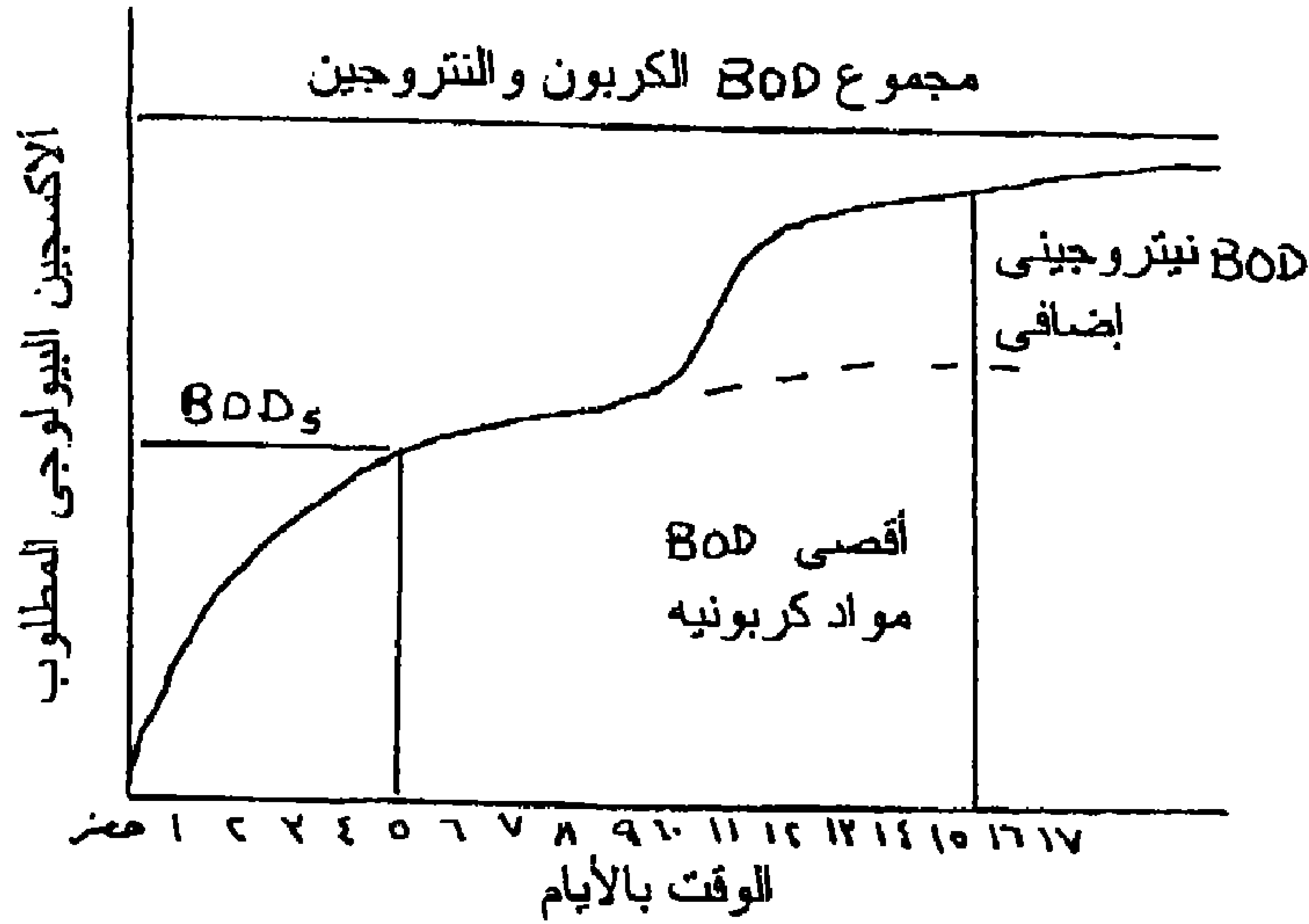
فى بعض الحالات، وخاصة عند تحليل مياه الصرف الصناعى أو مياه صرف الصناعات الغذائية التى لا تحتوى على بكتيريا، فإن مياه التخفيف يجب تخصيبها بالبكتريا، هذا يوفر الكم المناسب من الكائنات الحية الدقيقة ليتم تفاعل الأكسجين الحيوى المطلوب (BOD). ولكن يجب معرفة أنه رغم وجود كمية كبيرة من المواد العضوية فى المياه، وفى حالة عدم وجود ميكروبات لاستخدام الأكسجين وتثبيت المواد العضوية، فإنه لا يمكن الحصول على قياس لقيمة BOD. عند استخدام مياه التخفيف التى يتم تخفيفها بالميكروبات فإنه يجب تعديل المعادلة رقم (٣) بالنسبة لحساب BOD المضاف بمياه التخفيف.

النترجه (Nitrification) :

يلاحظ فى الشكل (٢/١٦) أنه يبدأ فى الاستقامة (flattens) بعد حوالى ثمانية أيام، ذلك مع الاقتراب من أقصى قيمة الأكسجين الحيوى المطلوب (BOD) قيمة ذلك (BODL) تسمى أقصى أكسجين حيوى مطلوب للمواد الكربونية، ذلك لأنه أثناء الأسبوع الأول تقريباً من التحلل فإن البكتريا تعمل أساساً على المواد المحتوية على الكربون. ومع مرور الوقت ونقص المواد الكربونية، تنشط أنواع أخرى من البكتريا. وهذه تسمى بكتريا النترجة (Nitrifying Bacteria). هذه المجموعة من الكائنات الحية الدقيقة تعيش وتتكاثر مع الأمونيا (NH_3) الغير كربونية فى مياه الصرف حيث تستغلها للطاقة. فى هذه العملية التى تسمى النترجة، تتحول الأمونيا إلى مواد أكثر ثباتاً وهى أيونات النيتريت (NO_2^-)، والنترات (NO_3^-) وهى شكل آخر من مركبات النتروجين.

أثناء هذه العملية، تستهلك بكتريا النترجة أكسجين إضافى، مسببة الارتفاع فى منحنى استهلاك الأكسجين بعد الـ٨ إلى ١٠ أيام الأولى من التحلل. هذا موضح فى الشكل (٢/١٦). معظم محطات المعالجة لمياه الصرف الصحى تزيل فقط الحمل العضوى الكربونى، ولكن يمكن أن يظل الصرف من محطة معالجة تقليدية يعمل على خفض

الأكسجين المذاب في المجارى السطحية التي يتم صرف مياه الصرف المعالجة هذه فيها ذلك بسبب الحمل العضوى النيتروجيني المستهلك (Nitrogenous BOD). أحيانا يلزم بناء نظم معالجة متطورة لإزالة الأمونيا وحماية بيئة الكائنات المائية من نقص الأكسجين بسبب عملية النترجة.



شكل (٢/١٦) المنحنى الكامل للأكسجين الحيوى المطلوب (BOD) يبين التأثير المتأخر للنترجة على إجمالي الأكسجين المطلوب. أكسجين إضافي يستهلك بواسطة بكتريا النترجة حيث تحول الأمونيا إلى النترات.

الأكسجين الكيماوى المطلوب (Chemical Oxygen Demand - COD)

اختبار الحمل العضوى (BOD) هو لقياس المواد العضوية في المياه والتي تتحلل بيولوجياً أى المواد التي يمكن للكائنات الدقيقة استخدامها بسرعة كغذاء. قد يوجد كذلك مواد لا تتحلل بيولوجيا (Non Biodegradable) أو بطيئة التحلل البيولوجي والتي لا يمكن اكتشافها باختبار (BOD) التقليدى.

اختبار الأكسجين الكيماوى المطلوب (COD) هو مقياس آخر الذى يقيس كل المواد العضوية بما فيها المواد التي لا تتحلل بيولوجيا. وهذا اختبار كيميائى باستخدام عامل مؤكسد قوى (برمنجنات البوتاسيوم) وحامض الكبريتيك وحرارة. نتيجة اختبار COD يمكن الحصول عليها خلال ساعتين فقط، وهذا يعتبر ميزة مقارنة بالخمسة أيام اللازمة لاختبار (BOD) القياسي.

عادة قيم (COD) تكون أعلى من قيم (BOD) لنفس العينة، ولكن عموماً لا توجد علاقة ثابتة بين الاختبارين لمختلف مياه الصرف. بمعنى آخر، إنه ليس مناسباً قياس قيمة COD ببساطة ثم استنتاج قيمة BOD. ذلك لأن معظم محطات معالجة مياه الصرف هي بيولوجية فى طريقة عملها، واختبار (BOD) هو الذى تقاس به عملية المعالجة ولذلك فإنه يظل القياس الأكثر استخداماً مقارنة باختبار (COD).

المواد الصلبة : (Solids)

توجد المواد الصلبة فى المياه إما فى المحلول أو كمادة عالقة. هذين النوعين من المواد الصلبة يمكن تمييزها بتمرير عينة الماء خلال مرشح من الصوف الزجاجي. وبذا فإن المواد الصلبة العالقة تحتجز على المرشح والمواد الصلبة المذابة تمر خلال المرشح مع الماء.

فى حالة وضع الجزء الذى تم ترشيحه من الماء فى طبق صغير ثم تبخيره، فإن المواد الصلبة المذابة فى الماء سوف تظل كراسب فى طبق التبخير. هذه المادة تسمى عادة إجمالى المواد الصلبة المذابة، ويرمز لها بالرمز (TDS) وهو اختصار (Total Dissolved Solids). يعبر عن تركيز TDS بالمليجرام فى اللتر ويمكن حسابها كالآتى:

$$\text{TDS}=\frac{(A-B)\times 100}{C} \qquad (٤)$$

حيث :

A = وزن الطبق + الراسب المتبقى بالمليجرام.

B = وزن الطبق الفارغ بالمليجرام.

C = حجم العينة المرشحة بالسنتيمتر المكعب.

مثال :

وزن طبق التبخير الفارغ كان ٤٠,٥٢٥ جرام. بعد ترشيح عينة الماء بحجم ١٠٠سم٣ تم تبخيرها من الطبق. وزن الطبق + الراسب المتبقى وجد أنه ٤٠,٥٤٥جرام أحسب تركيز المواد الصلبة المذابة.

الحل : باستخدام المعادلة رقم (٤) :

$$\text{إجمالى المواد الصلبة المذابة} = \frac{(٤٫٥٤٥ - ٤٫٥٢٥) \times ١٠٠٠}{١٠٠ \text{ سم}^٣}$$

$$= \frac{٢٠ \times ١٠٠٠}{١٠٠} = ٢٠٠ \text{ ملجرام/لتر}$$

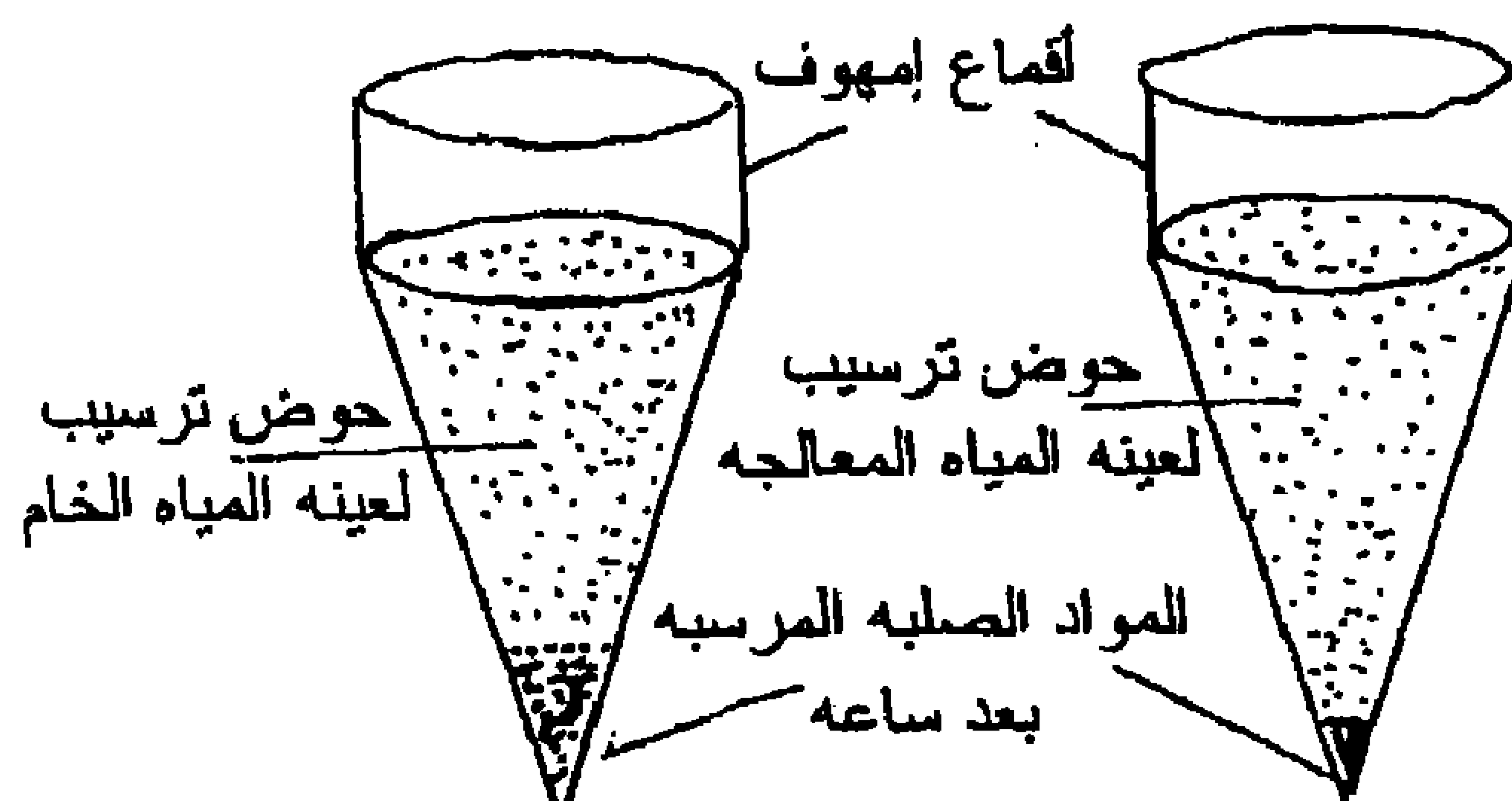
فى مياه الشرب المواد الصلبة المذابة يمكن أن تسبب مشاكل بالنسبة للمذاق كذلك فإن العسر، العدوانية للتآكل، أو مشاكل الاستساغة يمكن كذلك أن تصاحب التركيزات العالية من المواد الصلبة المذابة.

فى تحاليل مياه الصرف وفى التحكم فى تلوث المياه تكون المواد الصلبة العالقة المحتجزة على المرشح ذات أهمية وهى تعرف بالمواد الصلبة العالقة TSS (Total Suspendid Solids).

تركيز المواد الصلبة العالقة يمكن حسابه باستخدام المعادلة رقم (٤) حيث (A) تمثل وزن المرشح + المواد الصلبة المحتجزة، (B) تمثل وزن مادة الترشيح النظيفة، (C) تمثل حجم العينة المرشحة.

أحد الاختبارات الروتينية المستخدمة فى محطات معالجة مياه الصرف هو لتحديد كفاءة عملية المعالجة، هو بقياس المواد الصلبة القابلة للترسيب. المواد الصلبة القابلة للترسيب هى الجزء الخشن من المواد الصلبة العالقة والذى يرسب بسرعة بفعل الجاذبية. قمع إمهوف بحجم واحد لتر الموضح فى الشكل (٢/١٧) يتم ملؤه بعينة سائل الصرف الصحى. بعد ساعة واحدة من الترسيب من حالة الاستقرار، تتراكم المواد الصلبة عند قاع القمع، القمع مدرج بالسنتيمترات المكعبة وكمية المواد الصلبة القابلة للترسيب تقيم بالسنتيمتر المكعب فى اللتر.

تقسيم آخر للمواد الصلبة والذى يعتبر هاما فى معالجة مياه الصرف وهى المواد الصلبة المتطايرة (Volatile Solids). وهذه هى المواد العضوية التى يمكن حرقها أو تطايرها عند درجة حرارة 550°م فى فرن. المواد الصلبة المتبقية بعد الحرق عند درجة الحرارة هذه تكون مواد صلبة ثابتة أو غير متطايرة. تركيز المواد الصلبة العالقة المتطايرة هو مؤشر للأحمال العضوية فى محطات المعالجة البيولوجية. ويمكن تعيينها بقياس الفقد فى الوزن للمرشح من الصوف الزجاجى + المواد الصلبة المتبقية بعد الحرق.



شكل (٢/١٧) أقماع إمهوف التى تستخدم فى قياس كمية المواد الصلبة القابلة للترسيب فى المياه الخام والمياه المعالجة

العسر : (Hardness)

العسر هو تعبير عن خواص نوعية من المياه ذات محتوى عالى من الأملاح المعدنية (أى تركيزات عالية من الأملاح الكلية المذابة). هذه الأملاح المذابة تسبب مشاكل مثل حدوث ترسيبات قشرية (Scales) فى مواسير المياه الساخنة وكذلك صعوبة إحداث رغوة مع استخدام الصابون. الاعتبارات الاقتصادية بخلاف أى اعتبارات ضارة بالصحة تجعل المياه العسر غير مقبولة لدى المستهلك.

أيونات الكالسيوم (Ca^{2+})، أيونات المغنسيوم (Mg^{2+}) يسببان أكبر جزء من العسر فى المياه الطبيعية. هذه المواد تصل إلى الماء أساساً عند الالتصاق بالتربة والصخور، وخاصة رواسب الحجر الجيرى. عموماً المياه الجوفية تكون ذات عسر أعلى من المياه السطحية نظراً لالتصاقها مع الرواسب المعدنية للتربة لفترة زمنية طويلة.

عادة يعبر عن العسر بالملجرام/لتر مقيم ككربونات الكالسيوم. المياه ذات عسر أكبر من ٣٠٠ ملجرام/لتر تعتبر مياه عسر والمياه ذات عسر أقل من ٧٥ملجرام/لتر تعتبر مياه يسر. المياه عالية اليسر تسبب التآكل فى المواسير المعدنية.

الحديد، المنجنيز، النحاس، الزنك :

رغم أن كلا من الحديد والمنجنيز لا يسببا Fe^{2+} مشاكل صحية، إلا أنهما يسببان المذاق المر فى مياه الشرب، حتى عند التركيزات المنخفضة جداً. هذه المعادن توجد عادة فى المياه الجوفية فى شكل محلول من أيونات الحديدوز Fe^{2+}، المنجنيز (Manganous) (Mn^{2+}). عند التعرض للهواء الجوى فإنها تكون المركبات الغير مذابة من الحديدك

(Fe^{3+}) بما يجعل المياه عكرة وغير مقبولة لدى المستهلك. وهذه كذلك تسبب بقع بنى أو سوداء على المنسوجات المغسولة وكذلك فى مهمات السباكة.

النحاس والزنك كلاهما غير سام بالتركيزات المنخفضة، كلاهما يسبب مذاقا غير مستساغ لمياه الشرب، وعند التركيزات العالية يسبب الزنك المظهر اللبنى للماء.

الفلوريدات (Flourides)

كمية بسيطة من أيونات الفلوريد (F^-) تعمل على صحة الأسنان، حيث ثبت من الأبحاث العلمية أن تركيز الفلوريد حتى ١ ملجرام/لتر له تأثير كبير فى منع تسوس الأسنان وخاصة بالنسبة للأطفال، بدون أى آثار جانبية. عملية إضافة مركبات الفلور (Flouridation) لمياه الشرب تتم فى كثير من دول العالم.

الفلوريدات توجد بشكل طبيعى فى المياه فى بعض المناطق. عندما يزداد التركيز أما أن يتم استخدام مصدر بديل للمياه أو خفض التركيز لخفض تركيز الفلوريد. ذلك لأن التركيزات الزائدة من الفلوريد تسبب تغير لون الأسنان وهذه الظاهرة تسمى (Dental Flurosis). يوجد فاصل صغير بين التركيزات المفيدة والضارة من الفلوريد. ففى المناطق الحارة أقصى تركيز مسموح به هو ١,٤ملجرام/لتر، وفى المناخ البارد يصل التركيز حتى ٢,٤ ملجرام/لتر.

الكلوريدات : (Chlorides)

أيونات الكلوريد (Cl^-) فى مياه الشرب لا تسبب أى تأثيرات ضارة على الصحة العامة، ولكن التركيزات العالية يمكن أن تسبب المذاق المالح الغير مرغوب فيه، مستويات الملوحة فى مياه البحار تكون مرتفعة حيث قد تصل إلى حوالى ٣٥٠٠٠ملجرام/لتر.

الكلوريدات لا توجد عادة بتركيزات فى المياه الجوفية أو البحيرات أو المسطحات المائية ذلك فقط فى حالة التربة المحتوية على خام الملح الصخرى. ولكن وجود تركيزات عالية من الأملاح فى المياه العذبة (حوالى ٥٠٠ملجرام/لتر أو أكثر) يكون بسبب صرف مياه الصرف المعالج أو الخام على المجارى المائية والذى يحتوى على نسبة تركيز عالية من الكلوريدات. كذلك إيلاج المياه المالحة من البحر إلى الخزان الجوفى العذب يكون من أحد المشاكل فى المناطق الساحلية.

الكلور المتبقى : (Residual Chlorine)

من المهم التفريق بين أيونات الكلوريد والكلور فى الماء، الكلور (Cl_2) لا يوجد طبيعيا فى المياه. وهو واحد من أهم الكيماويات التى تضاف إلى الماء ومياه الصرف أساسا لأغراض التطهير.

الكلور فى المحاليل المائية المخففة يكون غير ضار للصحة العامة. أحد مميزات الكلور كمادة مطهرة هو أن التركيز المتبقى يمكن أن يظل فى نظام توزيع المياه بما يحقق نوعية للمياه صحية وخالية من الكائنات الممرضة، يكون المتبقى من الكلور في مياه الشرب حوالى ٠,٢ ملجرام/لتر. لقياس الكلور المتبقى فى عينة الماء تستخدم شنطة الاختبار بمقارنة الألوان (Color Comparator Test Kid) أحد المشاكل المتعلقة بكلورة إمدادات المياه هى أن الكلور يتفاعل مع المواد العضوية الموجودة طبيعيا أساسا من النباتات، التى تسمى المواد المشتقة من النبات (Precuresors). وهذه فى حد ذاتها ليست ضارة. المركبات التى تسمى التراى هالو ميثان (Trihalomethanes or THMS) تم التعرف عليها كمادة مسرطنة. أحد أهم مركبات التراى هالو ميثان هو الكلوروفوم ($CHCL_3$). الكلور يستبدل ثلاث ذرات من الهيدروجين فى جزئى الميثان ليكون الكلوروفورم. ولتجنب مخاطر تكون التراثيى هالو ميثان فإنه يلزم إزالة هذه المواد العضوية قبل إضافة غاز الكلور. وهذه المواد العضوية الناتجة عن تحلل النبات واختلاطه بالمياه الجوفية أساسا من بينها أحماض الفولفيك (Vulvic Acids). ولذلك فى حالة ظهور هذه المواد فى المياه فإنه يلزم إزالتها باستخدام المروبات حتى فى حالة كون المياه من المصادر الجوفية التى لا تحتاج إلى إزالة المواد العالقة بالمروبات لكونها خالية منها.

الكبريتات : (sulphates)

أيونات الكبريتات (SO^{2+}_4)، توجد فى المياه الطبيعية وفى مياه الصرف. عند استهلاك تركيزات عالية فى مياه الشرب، يمكن وجود مذاق غير مستساغ أو تأثيرات مسببة للإسهال، ولكن لا يوجد خطر على الصحة العامة بفعل الكبريتات.

الكبريتات فى مياه الصرف الصحى يمكن أن ينتج عنها رائحة كريهة نتيجة تكون غاز كبريتيد الهيدروجين، مع رائحته المنفرة، كذلك فإن الكبريتات تسبب مشاكل فى شبكات الصرف بما يسبب التآكل للقمة الداخلية لماسورة الصرف (Crown Corrosion).

النيتروجين : (Nitrogen)

النيتروجين يوجد فى البيئة فى أشكال كثيرة ويساهم فى كثير من التفاعلات البيوكيماوية. الأشكال الأربعة للنيتروجين ذات العلاقة بتكنولوجيا البيئة هى النيتروجين العضوى، نيتروجين الأمونيا، نيتروجين النيتريت، نيتروجين النترات، دورة النيتروجين فى أشكاله المختلفة فى البيئة الطبيعية موضح فى الشكل (١/٨).

فى المياه الملوثة بمياه الصرف الصحى يكون معظم النيتروجين الموجود فى شكل جزيئات من المواد العضوية المعقدة (البروتينات) والأمونيا (NH_3). هذه المواد تتحول بفعل البكتريا إلى النيتريت والنترات. النيتروجين خاصة فى شكل النترات يعتبر غذاء أساسى لنمو النباتات. زيادة تركيز النترات فى المياه السطحية يعمل على سرعة نمو النباتات المجهرية والتى تسمى الطحالب (Algae)، كما أن زيادة نمو الطحالب يقلل من نوعية المياه. هذه المشكلة التى تسمى (Eutrophication) والتى يعنى بها فرط النماء الطحلبى وتعفنه فى المياه وما يصاحبه من نقص فى الأكسجين المذاب.

النترات يمكن أن تصل إلى المياه الجوفية من الأسمدة الكيماوية المستخدمة فى الأراضى الزراعية. التركيزات العالية من النترات فى مياه الشرب تشكل خطورة على صحة الأطفال أقل من ٣ سنوات. أيونات النيتريت تتفاعل مع هيموجلوبين الدم، بما يقلل من قدرته على حمل الأكسجين وهذا يسبب مرض يسمى الطفل الأزرق (Blue Baby) أو (Methemoglobinemia).

الفوسفور :

مثل النيتروجين فإن الفوسفور غذاء أساسى الذى يساهم فى نمو الطحالب وفى نقص الأكسجين فى الماء نتيجة تعفن الطحالب، ذلك رغم أن وجوده فى مياه الشرب فتأثيرة قليل بالنسبة للصحة العامة. الفوسفور يمكن أن يصل إلى الماء خلال إما من مياه الصرف أو من مياه الصرف الزراعى التى تحتوى على الأسمدة والمخلفات الحيوانية. أملاح الفوسفات (PO^{3+}_4) وهى الشكل الغير عضوى للفسفور كانت فى الماضى تستخدم فى المنظفات ولكن رغم الحد من استخدام الفوسفور فى صناعة المنظفات إلا أن المصادر الأخرى تمثل مشاكل بيئية كبيرة.

الحموضة، القلوية، والرقم الهيدروجينى (pH) :

المستويات المرتفعة جداً من الحموضة أو القلوية فى المياه هى دليل على وجود التلوث الصناعى أو الكيماوى، ولكن الحموضة والقلوية تحدث كذلك بطريقة طبيعية. ثانى

أكسيد الكربون من الجو أو من تنفس الكائنات المائية يسبب الحموضة عند إذابته فى الماء مكونا حامض الكربونيك (H_2CO_3). أيونات الكربونات (CO^{2-}_3) أو البيكربونات (HCO^-_3) المذابة للصوديوم، الكالسيوم أو الماغنسيوم تسبب القلوية الطبيعية< الالتصاق بين الماء والأملاح المعدنية فى التربة هو السبب الرئيسى لهذه المواد.

المواد الحامضية تنتج أيونات (H^+) فى الماء، والمواد القلوية تنتج أيونات (OH^-). الرقم الهيدروجينى (pH) هو مقياس للحموضة أو القلوية. السبب الرئيسى لقياس الحموضة، القلوية، الرقم الهيدروجينى فى الماء هو بغرض التحكم وإدارة عمليات المعالجة للمياه فى محطات التنقية. الجرعات المطلوبة لمختلف الكيماويات تتوقف على تركيز الحموضة، القلوية، أو على الرقم الهيدروجينى للماء.

المياه ذات الكميات القليلة من الحموضة أو القلوية يمكن شربها بدون آثار صحية ضارة، ولكن التركيزات العالية تسبب المذاق الغير مرغوب فيه حيث الحامض له مذاق الحموضة والمحاليل القلوية ذات مذاق مر. الحموضة والقلوية فى المياه الطبيعية تعمل كعامل درئ (Buffer) الذى يحمى الأسماك والكائنات الأخرى من التغير المفاجئ فى الرقم الهيدروجينى. فمثلاً، إذا حدث تلوث لمياه البحر بواسطة مادة كيماوية حامضية والتى بها قلوية طبيعية لمياهها، فإنه يحدث تفاعل تعادل بين المواد الحامضية والقلوية، عندئذ يظل الرقم الهيدروجينى (pH) فى مجال رقم هيدروجينى ما بين ٦ إلى ٩,٥.

المواد السامة والمشعة (Toxic and Radioactive Substances)

نوعيات كثيرة من المواد السامة العضوية والغير عضوية يمكن وجودها بكميات صغيرة أو صغيرة جداً فى الماء. حتى فى حالة وجودها بكميات صغيرة جداً (Trace Amounts) فإنه يمكن وجود تهديد للصحة العامة. بعض المواد السامة يكون من مصادر طبيعية، ولكن الكثير يكون مصدره الأنشطة الصناعية وعدم الإدارة الجيدة للمخلفات الصناعية.

المادة الكيماوية السامة يمكن أن تكون سميتها مسببة للوفاة أو يمكن أن تسبب المرض والذى لا يمكن ملاحظته إلا بعد سنين كثيرة من التعرض. المادة المسرطنة هى التى تسبب السرطان، المادة التى هى مسببة للطفر الوراثى فى الجينات (Mutagenic) تحدث تأثيرات ضارة لنسل الشخص المعرض.

بعض المعادن الثقيلة المسببة للتسمم هى الكادميوم، الكروم، الرصاص، الزئبق، الفضة والزرنيخ، الباريوم، السيلينيوم هى كذلك عناصر سامة والتى يجب الحد من وجودها فى مياه الشرب.

كثير من المواد الكيماوية العضوية السامة تم التعرف عليها ويتم مراقبتها والحد منها فى إمداد المياه للشرب من بين هذه المواد الترای هالو ميثان الذى يتكون بعد الكلـورة. المبيدات الحشرية مثـل الإنـدرين (Endrin) والتوكـسافين (Toxaphene) هـى مـواد كربوهيدراتية مكلورة سامة التى يتم رصـدها، أمـا بالنـسبة لمـادة DDT، الكلـورين (Chlordane) فقد تم منع استخدامهما.

تحليل عينات الماء بالنسبة لآثار الملوثات يحتاج إلى أجهزة حديثة ومكلفة. للكـشف عن العناصر الثقيلة يستخدم جهاز قياس الطيف الضوئى بالامتصاص الـذرى (Atomic Absorbion Spectrophotometers) وللكـشف عـن المـواد العـضوية تـستخدم (Chromatograph / Mass Spectorphatometery) وهى أجهزة متاحة فى معامل تحاليل نوعية المياه. هذه الأجهزة يمكنها الكشف عن المواد فى حالة وجودها بتركيزات منخفضة جداً. بالجزء فى المليار أو بالميكروجرام فى اللتر.

الإشعاع (Radiation)

انبعاث الجسيمات الأصغر من الذرة (subatomic) أو إنبعاث الطاقة من النواة الغير مستقرة لذرات معينة يشار له بالإشعاع، والذى يسبب مخاطر صحية شديدة. من الواضح، أن وجود المواد المشعة فى الماء غير مرغوب فيه، وأقصى تركيز مسموح بـه للمـواد المشعة تم تقديره بالنسبة لإمدادات المياه للشرب. المصادر الهامة للملوثات المشعة فـى الماء تشمل مخلفات محطات الطاقة النووية، وكذلك من عمليات تنقية خـام اليورانيـوم. الرادون (Radon) يوجد أحياناً بشكل طبيعى فى المياه الجوفية، ووحدة النشاط الإشـعاعى المستخدمة فى تطبيقات نوعية المياه هى البيكوكورى/لتـر (Pecocurie/L-Pci/L) وهـى تكافئ تحلل ذرتين فى الدقيقة.

٤- المعايير البيولوجية لنوعية المياه :

إن وجود أو عدم وجود الكائنات الحية فى الماء يمكن أن يكون أهم المؤشرات المفيدة لنوعية الماء. فى الأنهار والمجارى المائية والبحيرات، تنوع الأسماك وأجناس الحشرات يوفر قياس للميزان البيولوجى أو الصحى للبيئة المائية. أنواع كثيرة من الأجناس المختلفة من الكائنات عادة توضح ما إذا كان المصدر المائى ملوث أم لا. اختفاء أجنـاس معينـة وتوفر مجموعات أخرى من الكائنات هو عموماً واحد من آثار التلوث. أنواع من الأسماك تختفى من المياه الملوثة، وأنواع أخرى تقاوم. فى حالة التلوث الحاد فإن حياة الأسـماك تنتهى نهائياً. علماء البيولوجى يمكنهم البحث عن الأسماك والحشرات وحياتها فى الميـاه

الطبيعية ثم تقدير نوعية المياه على أساس حساب مخطط تنوع الأجناس (Species-Diversity Index).

النباتات والحيوانات المجهرية هى كذلك هامة عند تقدير نوعية المياه، وخاصة بالنسبة لمياه الشرب ومياه الصرف الصحى. ولهذا سيتم تناول بعض الحقائق الأساسية عن البكتريا والكائنات الصغيرة الأخرى، مع التركيز على الكائنات الحية الدقيقة التى تسمى الكوليفورم (Coliforms) والتى هى من أهم المعايير البيولوجية لنوعية المياه.

الكائنات الحية الدقيقة : (Microorganisms)

الكائنات الدقيقة الحيوانية والنباتية تقوم بدور أساسى فى عمليات الحياة لكل الكائنات الحية بما فيها الإنسان. على عكس المفهوم الخاطئ أن الميكروبات ضارة، فإن الحقيقة أن معظمها مفيد، وخاصة بالنسبة لدورها فى تحلل سلسلة الغذاء. عدد قليل جداً من أجناس الميكروبات هو الذى يسبب مرض الإنسان أو إحداث أضرار بالبيئة.

الكائنات الحية الدقيقة هى كلية الوجود أى أنها توجد فى أى مكان فى الطبيعة. مثال فإنه يوجد ملايين البكتريا والخمائر التى تعيش فى جرام واحد فى تربة الحديقة الغنية. وهذه تقوم بتحلل المواد العضوية، إلى مواد غذائية بسيطة التى يمكن أن تمتص خلال جذور النباتات. كذلك فإن المواد الغذائية تحتوى على كائنات حية دقيقة، مثل الخمائر والتى تسبب التخمر، منتجة ثانى أكسيد الكربون، والكحول من السكريات.

نظراً لأن المواد الغذائية ليست معقمة، فإن الأجسام الآدمية تحتاج مجموعات عادية من البكتريا فى الجهاز الهضمى، مجموعة الكوليفورم من أنواع البكتريا تكون الجزء الرئيسى من هذه المجموعات. المخلفات الحيوانية تتكون أساساً من الكائنات الحية الدقيقة من الأمعاء. رغم أن مياه الصرف الصحى تحتوى على ملايين الميكروبات فى كل سم٣، إلا أن معظمها غير ضار. إنه فقط فى حالة وجود مخلفات من أشخاص مرضى بأمراض معدية مختلطة بمياه الصرف الصحى، حيث يمثل ذلك وجود كائنات ضارة فى مياه الصرف.

البكتريا : (Bacteria)

تعتبر البكتريا من النباتات وحيدة الخلية بسبب تكوين خلاياها وطريقة حصولها على الغذاء. وهى تستخدم الغذاء المذاب الذى يؤخذ خلال جدار الخلية القوى ولكن البكتريا لا تشبه النباتات الخضراء والتى تستخدم التمثيل الضوئى، والبكتريا لا تنتج غذاءها.

البكتريا صغيرة جداً حيث يصل حجمها إلى حوالى ٠,٢ مليميكرون، ويمكن رؤيتها فقط بالمجهر، وهى توجد فى ثلاثة أنواع من أشكال الخلية: وهى الشكل العصوى (Rod-Shaped) أو الباسيلليس (Bacillus)، الشكل الكروى (Sphere-Shaped) أو الكوكاس (Coccus)، والشكل اللولبى (Spiral-Shaped) أو الإسبير بللاسى (Sperellus) . فى بعض الحالات الخلايا المستقلة تنمو معا فى مجموعات ضخمة أو سلاسل. مثال لنوع البكتريا الذى ينمو فى شكل تسلسل أو شعيرة محاطة خلال غلاف طويل أو أنبوبة هى بكتريا (Sphaerolilus Natas). النمو الزائد لهذه الكائنات الشعيرية معروف أنه من أحد أسباب انخفاض كفاءة المعالجة فى محطات معالجة مياه الصرف الصحى. فى أقل من ٣٠ دقيقة فإن البكتريا الواحدة يمكن أن تنقسم إلى خليتين جديدتين. عملية التكاثر هذه تسمى الانقسام (Binary). فى الظروف الجيدة من توفير الغذاء ودرجة الحرارة والرقم الهيدروجينى يمكن للبكتريا أن تتكاثر بسرعة حتى أن مزرعة البكتريا يمكن أن تحتوى على ما يقرب من ٢٠ مليون خلية مستقلة فى واحد سنتيمتر مكعب بعد يوم واحد من النمو. هذا النمو السريع للتجمعات المرئية (Visible Colonies) من البكتريا على مجال غذائى مناسب يمكن من اكتشافها وإمكان عد أعداد البكتريا فى الماء.

توجد فروق عديدة بين أنواع البكتريا. أحدها يتوقف على طريقة أيض (Metabolize) غذائها. البكتريا التى تحتاج للأكسجين (للميتابوليزم) تسمى البكتريا الهوائية أو (Aerobes). وتلك التى تعيش فى البيئة الخالية من الأكسجين تسمى البكتريا اللاهوائية (Anaerobes). التفرقة بين هذين النوعين له أهمية كبيرة فى تلوث المياه وفى معالجة مياه الصرف. (توجد أنواع أخرى تسمى البكتريا (Facultative) والتى يمكن أن تعيش فى عدم وجود الأكسجين وفى وجود الأكسجين.

اختلاف آخر بين أنواع البكتريا وهو بدلالة الغذاء الذى تحتاجه تلك التى تستخدم المركبات الغير عضوية البسيطة لغذائها تسمى البكتريا ذاتية الغذاء (Autotrophic)، وتلك التى تحتاج مركبات عضوية معقدة تسمى البكتريا متباينة الغذاء (Heterotrophic). بكتريا النترجة (Nitrifying) كمثال التى تستخدم الأمونيا كغذاء وتحولها إلى النترات هى ذاتية الغذاء. مثال آخر لذاتية الغذاء هو بكتريا الحديد وبكتريا الكبريت. بكتريا الحديد تعيش فى بعض مواسير المياه وعادة تسبب مشاكل المذاق والرائحة فى مياه الشرب بسبب تكاثرها بفعل أكسدة الحديد (Iron Oxidizing Bacteria) . بكتريا الكبريت والتى هى كذلك لا هوائية تنشط فى شبكات الصرف الصحى بما يعجل من تلف المواسير الخرسانية وذلك باختزال الكبريتات إلى كبريتيد الهيدروجين والذى يتحول إلى حامض الكبريتيك. أحد

العوامل الهامة ذات التأثير على نمو وتكاثر البكتريا هو درجة الحرارة. عن درجات الحرارة المنخفضة تنمو البكتريا وتتكاثر ببطء. مع ارتفاع درجة الحرارة فإن معدل النمو والتكاثر يتضاعف لكل ارتفاع فى درجة الحرارة قدره ١٠ ْم (حتى أقصى درجة الحرارة طبقاً للنوع). معظم أنواع البكتريا تنقسم إلى أليف الاعتدال الحرارى (Mesophilic) ذات أقصى درجة حرارة ٣٥ ْم. تلك التى تنشط بطريقة أفضل عند درجات الحرارة المرتفعة حتى حوالى 60ْم تسمى البكتريا أليفة الحرارة (Thermophilic) . البكتريا ذات أقصى درجة حرارة للنمو ما بين صفر حتى ٢٠ ْم تسمى بكتريا التى تألف رطوبة الجو (Psycrophilic).

الطحالب : (Algae)

الطحالب هى نباتات مجهرية، والتى تحتوى على صبغات التمثيل الضوئى مثل الكلوروفيل وهى كائنات ذاتية الغذاء (Autotrophic) وتساعد نفسها بتحويل المواد الغير عضوية إلى مادة عضوية باستخدام الطاقة الشمسية. أثناء عملية التمثيل الضوئى فإنها تأخذ ثانى أكسيد الكربون من الجو وتخرج الأكسجين.

الخاصية الأساسية لهذه النباتات البسيطة هى خلوها من الجذور، السيقان، الأوراق. الطحالب حرة الطفو تسمى العوالق النباتية (Phytoplankton). كائنات حية عالقة فى الماء (Planktons) عبارة عن نباتات أو حيوانات دقيقة طافية التى تعيش إما فى الماء العذب أو المياه المالحة. أكثر من ٩٠% من أكسجين الهواء الجوى ينتج بواسطة – المياه المالحة أو العوالق النباتية البحرية (Marina phytoplankton)، بعملية التمثيل الضوئى (Photosynthesis). رغم هذا فإن معظم أنواع الطحالب يكون مجهرى، يمكن ملاحظته بسهولة عندما تنتشر وتتكاثر (Proliferate) فى الماء. التكاثر الزائد للطحالب، يسمى غشاء طحلبى (Algal Bloom) عادة لا يرى. بعض أنواع الطحالب تكون متعددة الخلايا، وتنمو فى شكل شعيرات (Filaments) التى تظهر أحياناً كقاذورات خضراء فى الماء.

الأنواع العادية تشمل الطحالب ذات اللون الأزرق المخضر (Blue-Green) مثل (Anabaena)، الطحالب الخضراء مثل (Spyrogura)، الطحالب ذات اللون الأصفر المخضر (Yellow-Green) مثل (Botrydium)، والطحالب الحمراء مثل (Gelidium). مجموعة أخرى هامة من الطحالب التى تسمى الدياتوم (Diatoms)، وهذه تنتج صدفات صلبة من السيليكا. رواسب هذه الصدفات من الدياتومات الميتة التى تراكمت خلال مئات

السنين من التربة الدياتومية (Diatomaceous Earth) وهى المـادة المستخدمة أحيانا كوسيط ترشيحي للمياه.

الطحالب تقوم بدورها فى فرط النماء الطحلبى وتعفنه فى المـاء (eutrophication) للبحيرات وهى كذلك هامة فى معالجة مياه الصرف فى برك الأكسده بالنسبة للصحه العامة تعتبر الطحالب كائنات مزعجة فى إمدادات المياه بسبب المشاكل التى تسببها بالنسبة للمذاق والرائحة التى تنتجها والتكاليف الزائدة اللازمة لترشيحها من الماء. أحيانا أصناف معينة من الطحالب تسبب مشاكل صحية وبيئية، فمثلاً الطحالب الزرقاء المخضرة يمكن أن تقتل القطعان والحيوانات المنزلية الأخرى فى حالة شرب هذه الحيوانات للماء المحتوى على هذا النوع من الطحالب. الطحلب السام الذى يسمى (Pfiesteria) يمكنه قتل الأسماك ويسبب المرض للإنسان المستخدم للماء المحتوى على هذا النوع. نوع آخر (Chattonella Yerruculosa) يمكنه قتل الأسماك ويسبب المرض لـ (Beach-Goers) عند حدوث ما يسمى بالمد والجذر الأحمر فى مياه البحر (Red-Tides).

البروتوزوا : (Protozoa)

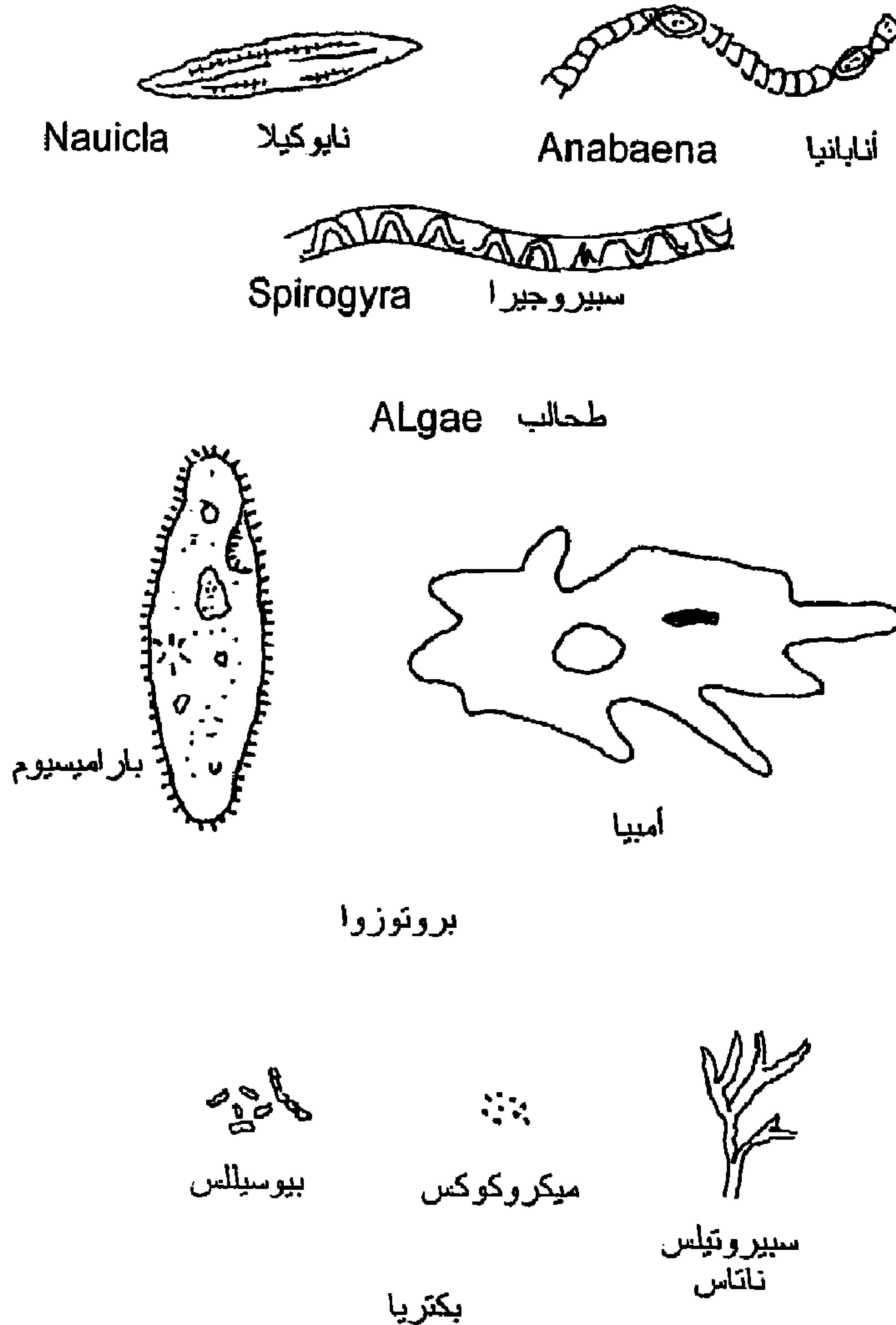
البروتوزوا هى أصغر الكائنات الحيوانية، هـذه الحيوانـات ذات الخلية الواحدة المجهرية تستهلك الأجسام العضوية الصلبة، البكتريا، والطحالب لغذائها. وهى بالتالى يتم هضمها كغذاء بواسطة الكائنات الحيوانية الأعلى ذات الخلايا المتعددة. والأصناف ذات الطفو فى الماء والتى تسمى (Zooplankton) تعتبر جزءاً حيوياً لسلسلة الغذاء للكائنات المائية، وهى كذلك ذات تأثير فى عمليات المعالجة البيولوجية لمياه الصرف.

الأميبيا (Amebae) هى البروتوزوا التى تتحرك بطرح مقاطع من أجسامها، هذا البروتوبلازم المتحرك للأميبا يستخدم كذلك لإحاطة وتغليف جسيمات الغذاء. عادة توجد الأميبا عادة فى العفن (Slimes) المتكون فى أنواع معينة من عمليات المعالجة لمياه الصرف الصحى.

مجموعة البروتوزوا التى تسمى (Flagellates) تتحرك دائرياً فـى المـاء بواسطة (Strand) فى شكل الخيط الطويل الذى يسمى (Flagellum)، والذى يدفعها بفعل أدائه السوطى. أحد هذه الكائنات (Giardialamblia) عند الابتلاع يسبب الدسنتاريا فى الإنسان، نوع آخر من البروتوزوا له مئات من الشعيرات القصيرة التى تسمى (Cilia) والتى تدفع الكائن خلال الماء وتقوم بتوجيه الغذاء نحو جهازها الهضمى. فمثلاً نـوع (Paramecia) من البروتوزوا (Ciliated) يوجد عادة فى بحيرات وبرك المياه العذبة.

أنواع من البروتوزوا التى تسمى (Cryptosporidium) وجد أنها تسبب أمراضا معوية، وهذه توجد عادة فى البحيرات وفى المجارى المائية وهى شديدة المقاومة للتطهير بالكلور وخاصة الحويصلات (Cysts)، إلا أنه يمكن تطهيرها بالأوزون كما أن عمليات الترويب والترسيب والترشيح تعمل على إزالتها.

أنواع البروتوزوا المختلفة وكذلك الأشكال العادية للطحالب والبكتريا موضح فى الشكل (٢/١٨).



شكل (٢/١٨) أشكال لبعض الكائنات الدقيقة الموجودة فى الماء وفى مياه الصرف

الفيروسات : (Viruses)

الفيروسات هى كائنات ممرضة صغيرة جداً، وهى صغيرة حتى أنه يمكنها المرور خلال المرشحات التى لا تسمح بمرور البكتريا، معظم الفيروسات يمكن رؤيتها فقط باستخدام المجهر الإلكترونى القوى. نظراً لأن الفيروسات لا تستطيع أن تعيش مستقلة وتتكاثر، لذلك فإن القول بأنها كائنات حية محل شك. لتتكاثر، فإن الفيروسات يجب أن تقتحم ملاصقة لخلايا حية مناسبة وتحصل على عمليات الأيض للخلايا لاستخدامها الخاص.

الفيروسات يمكن أن تسبب عديد من الأمراض للإنسان، بما فيها مرض الجديرى (Chickenpox)، الربو، الحمى الصفراء، شلل الأطفال (Polio)، الأنفلونزا، بعض الأمراض المعدية، البرد العادى. يمكن أن تنتقل الفيروسات من خلال الهضم للمياه الملوثة بمياه الصرف الصحى. الفيروسات التى تسبب العدوى لخلايا الجهاز الهضمى للإنسان تسمى (Enteric Viruses or Entroviruses).

كثيراً من أنواع العدوى الضارة يمكن مقاومتها باستخدام الأمصال أو بواسطة الإبادة للحشرات الناقلة (Eradication of Insect vectors) التى تنقل الفيروسات إلى الإنسان. معظم المياه الملوثة بالفيروسات يمكن إيقاف نشاطها بطرق معالجة المياه التى تشمل الترويب، الترشيح والتطهير والذى يتم فيها إزالة المواد التى تتداخل مع التطهير.

كائنات المؤشر : (Indicator Orgainsms)

أحد أهم عوامل النوعية الجيدة للمياه هو خلوها من الكائنات الحية الدقيقة المسببة للأمراض – وهى البكتريا الممرضة Pathogenic، الفيروسات، البروتوزوا، أو الديدان الطفيلية، المياه الملوثة بمياه الصرف الصحى قد تحتوى على مثل هذه الكائنات الدقيقة التى تفرز فى غائط الأشخاص حاملى العدوى. فى حالة شرب المياه بواسطة آخرين قبل معالجتها جيداً، فإن دورة المرض يمكن أن تستمر فى شكل وبائى شائع.

اختبار المياه لوجود كائنات ممرضة (Salamonella Typhosa) التى تسبب حمى التيفود أو البروتوزوا المسببة للدسنتاريا مثل الإنتاميبا هستوليتيكا، يكون من المهام المعملية الصعبة، ومضيعة للوقت نظراً لأنه اختبار غير عملى، تركيزات هذه الكائنات فى عينة المياه الملوثة يمكن أن يكون صغيرا جداً بحيث يصعب الكشف عنها، بما يجعل

من الضرورى اختبار أحجام كبيرة من المياه. كذلك يكون من الضرورى الاختبار لأنواع كثيرة من الكائنات قبل اعتبار أن المياه آمنة.

الطريقة العملية والتى يعتمد عليها أكثر من الاختبارات لكل الكائنات الممرضة هى الاختبار لنوع واحد الذى يعطى إشارة عن احتمال وجود تلوث من الصرف الصحى، فى حالة وجود الصرف الصحى فى الماء، فإنه يمكن افتراض أن الكائنات الممرضة هى كذلك موجودة وبذا يكون هناك تهديداً للصحة العامة. نوع الكائنات الذى يقوم بهذا الغرض يسمى كائنات المؤشر.

بكتريا الكوليفورم : (Coliforms)

المؤشر البيولوجى الهام لنوعية المياه وللتلوث المستخدم فى تكنولوجيا البيئة هو مجموعة من البكتريا تسمى الكوليفورم. ليست ممرضة، الكوليفورم موجود دائماً فى مجرى الغائط للإنسان، حيث تخرج ملايين من المخلفات الآدمية، وبالتالى فإن المياه الحديثة التلوث بمياه الصرف الصحى ستكون دائماً محتوية على الكوليفورم.

نوع خاص من الكوليفورم وجد فى الصرف الصحى المنزلى هو (Escherichia-Coli) ويرمز له (E-Coli). حتى فى حالة التلوث القليل للماء، فإنه يحتمل وجودها، حيث يوجد تقريباً حوالى ٢٣ مليون من بكتريا E-Coli فى كل ١٠٠سم٣ من مياه الصرف الغير معالج. معظم سلاسلات E-Coli تكون عموماً غير ضارة، ولكن الأشخاص حاملى العدوى هى كذلك تفرز كائنات ممرضة جنباً إلى جنب مع الكوليفورم.

بكتريا الكوليفورم عبارة عن كائنات شديدة القدرة على الاحتمال وتعيش فى الماء أطول من معظم الكائنات الممرضة. كذلك فهى من السهل الكشف عنها. عموماً يمكن القول أنه فى حالة وجود عينة من الماء غير محتوية على الكوليفورم عندئذ لا يكون هناك احتمال تلوث حديث بمياه الصرف الصحى وأن وجود الكائنات الممرضة غير محتمل إطلاقاً. على الجانب الآخر، إذا تم اكتشاف الكوليفورم فإنه يكون احتمال تلوث حديث بمياه الصرف الصحى، ولكن يكون مطلوب اختبارات إضافية لإثبات أن الكوليفورم من مياه الصرف الصحى وليس من مصادر أخرى.

بالاختصار يمكن القول :

لا كوليفورم ← لا صرف صحى ← لا كائنات ممرضة.

الكوليفورم هو حقيقة مجموعة كبيرة من الكائنات الحية الدقيقة. وهى توجد فى التربة بشكل طبيعى وكذلك فى الجهاز الهضمى لكل الكائنات الحيوانية ذات الدم الحار، بما فيها الإنسان. يكون من الضرورى التفرقة بين مجموعتين الكوليفورم الكلى، الكوليفورم الغائطى. الكوليفورم الكلى يشير إلى كل أنواع المجموعة بصرف النظر عن مصدرها، أما الكوليفورم الغائطى هو من إفرازات ذوات الدم الحار. E-Coli هو كوليفورم غائطى من الإنسان.

اختبار الكوليفورم الكلى يستخدم عملياً لتحليل مياه الشرب لتعيين نوعية المياه الصحية. مياه الشرب يجب أن تكون خالية من الكوليفورم من أى نوع. على الجانب الآخر، اختبار الكوليفورم الغائطى أكثر مناسبة لرصد التلوث للمياه السطحية الطبيعية أو المياه الجوفية. نظراً لأن عد الكوليفورم الكلى سيكون غير حاسماً فى هذه الحالة. محطات معالجة مياه الصرف الصحى ومعالجة مياه الصرف الصناعى يجب أن تجرى اختبار الكوليفورم الغائطى لمياه الصرف قبل صرفها على المسطحات المائية للتأكد من حسن أداء عملية التطهير.

نسبة بكتريا الكوليفورم إلى البكتريا العقدية :

(Fecal Coliform to Fecal Strep Ratio)

يكون من الضرورى أحياناً تعيين، إذا كان الكوليفورم الغائطى فى عينة الاختبار من أصل آدمى أو من أصل حيوانى. وجود نوع آخر من البكتريا المسمى البكتريا الغائطية العقدية (Fecal Streptococciorstrep) يمكن أن يوفر المفتاح الضرورى. بكتريا العقدية الغائطية هى كذلك بكتريا غائطية ولكنها تكون أكثر من بكتريا الكوليفورم فى الحيوانات بخلاف الإنسان. عندما تكون نسبة عدد بكتريا الكوليفورم الغائطى إلى البكتريا العقدية أكثر من الضعف فإن التلوث يكون من مصدر آدمى. وعندما تكون النسبة أقل من واحد صحيح عندئذ يكون مصدر التلوث هو من المخلفات الحيوانية. نسبة بكتريا الكوليفورم الغائطى إلى بكتريا العقدية، بين ١ إلى ٢ تكون غير حاسمة. بالإضافة إلى نسبة الكوليفورم الغائطى إلى بكتريا العقدية فإنه يلزم عمل أبحاث ميدانية تسمى المباحث الصحية لتعيين مصدر تلوث المياه. فى هذه المباحث الميدانية الصحية يتم دراسة عدة عوامل منها حدود النشاط الزراعى، ومكان وحالة السكان، ومدى وجود الصرف الموضعى لمخلفات الصرف الصحى.

اختبار الكوليفورم : (Testing for Coliforms)

يمكن استخدام طريقتين للكشف عن الكوليفورم وقياسه فى الماء – طريقه المرشح الغشائى وطريقة تخمر الأنابيب المتعددة . طريقة المرشح الغشائى تستغرق وقتا أقل وتوفر العد المباشر للكوليفورم أكثر من طريقة الأنابيب المتعدده. رغم أن طريقة المرشح الغشائى هى السائدة الاستخدام، إلا أن طريقة الأنابيب المتعددة مازالت فى بعض المعامل، حيث أن طريقة المرشح الغشائى لا يناسب استخدامها العينات العكرة. من المهم تفهم الفارق الأساسى بين الطريقتين.

طريقة المرشح الغشائى : (Membrane Filter Method)

فى هذه الطريقة يتم سحب حجم معين من العينه خلال غشاء خاص بتسليط التفريغ الجزئى (Partial Vacuum). المرشح فى شكل قرص ورقى مستوى فى حجم الدولار الفضى، له ثقوب مجهرية منتظمة وصغيرة بما يكفى لحجز البكتريا على سطحها بينما تسمح بمرور المياه.

بعد سحب العينة، يتم وضع المرشح فى وعاء معتم يسمى طبق بيترى (Petri-Dish). طبق بترى يحتوى كذلك على مجال إنماء خاص (Culture Medium) حيث تستخدمه البكتريا كمصدر للغذاء. هذا المجال الغذائى يكون عادة متاح فى أوعية زجاجية صغيرة تسمى (Ampoules) حيث ينقل منها سريعاً إلى طبق بيترى. مكوناته هى أنها تساعد على نمو الكوليفورم بينما تعرقل نمو البكتريا المحجوزة على المرشح.

جهاز المرشح الغشائى موضح فى الشكل (٢/١٩) والمرشح يظهر موضوعاً فى طبق بيترى فى الشكل (٢/٢٠).

طبق بيترى الذى يحتوى المرشح والمجال الغذائى يوضع عادة فى حضانة، والتى تحافظ على درجة الحرارة عند ٣٢ °م، لمدة ٢٤ ساعة. بعد التحضين مجموعات (Colonies) بكتريا الكوليفورم، كل يحتوى ملايين الكائنات ستكون مرئية، وهى تظهر كنقط أو بقع ذات خاصية الشكل الأخضر المعدنى.

تركيز الكوليفورم يتم الحصول عليه بعد عدد التجمعات (المستعمرات) على المرشح. المقدمة الأساسية لاختبار المرشح الغشائى هو أن كل مجموعة (مستعمرة) بدأت النمو من كائن واحد. من هنا يمكن افتراض أن كل مستعمرة تم عدها تمثل كوليفورم واحد فقط فى العينة الأصلية.

المرشح له شبكة من خطوط متصالبة مطبوعة عليها لتسهيل عد المستعمرات، استخدام عدسة تكبير تساعد في الحصول على نتائج دقيقة. العينات الصغيرة من المياه الملونة أو من مياه الصرف يجب أن يتم تخفيفها بالمياه المعقمة قبل الترشيح بحيث لا يتم التزاحم الزائد بالمستعمرات على المرشح، والذى يجعل الحصول على النتائج الدقيقة مستحيل.

يعبر عن تركيز الكوليفورم بعد الكائنات الدقيقة فى ١٠٠سم٣ من الماء، يمكن استخدام المعادلة التالية لتقدير النتائج للعينات بمختلف الأحجام.

$$\text{الكوليفورم فى كل ١٠٠سم٣} = \frac{\text{عدد المستعمرات} \times ١٠٠}{\text{سم٣ من العينة}}$$

مثال :

عينة من الماء بحجم ٤سم٣ من مجرى مائى تم سحبها خلال المرشح الغشائى. تم تغطية المرشح أولاً بالماء المعقم للتخفيف ولنشر العينة، بانتظام فوق المرشح، ثم عد ست عشرة مستعمرة على المرشح بعد التحضين لمدة ٢٤ ساعة عند درجة حرارة 32°م. عين عد الكوليفورم فى ١٠٠سم٣.

الحل : باستخدام المعادلة السابقة :

$$\text{المستعمرات فى ١٠٠سم٣} = \frac{١٦ \times ١٠٠}{٤} = ٤٠٠$$

الطريقة الأساسية التى تم توضيحها لاختبار المرشح الغشائى يمكن استخدامها لاختبارات الكوليفورم الكلى أو الكوليفورم الغائطى، ولكن يتم استخدام مجالات غذائية مختلفة، وأن يتم عمل اختبار الكوليفورم الغائطى عند ٤٤,٥°م وليس عند 35°م. يستخدم حمام ماء خاص للتحضين للمحافظة على استمرار درجة الحرارة العالية لاختبار الكوليفورم الغائطى. تقنية المرشح الغشائى يمكن استخدامها كذلك لاختبار بكتريا العقد الغائطية (Fecal Strep).

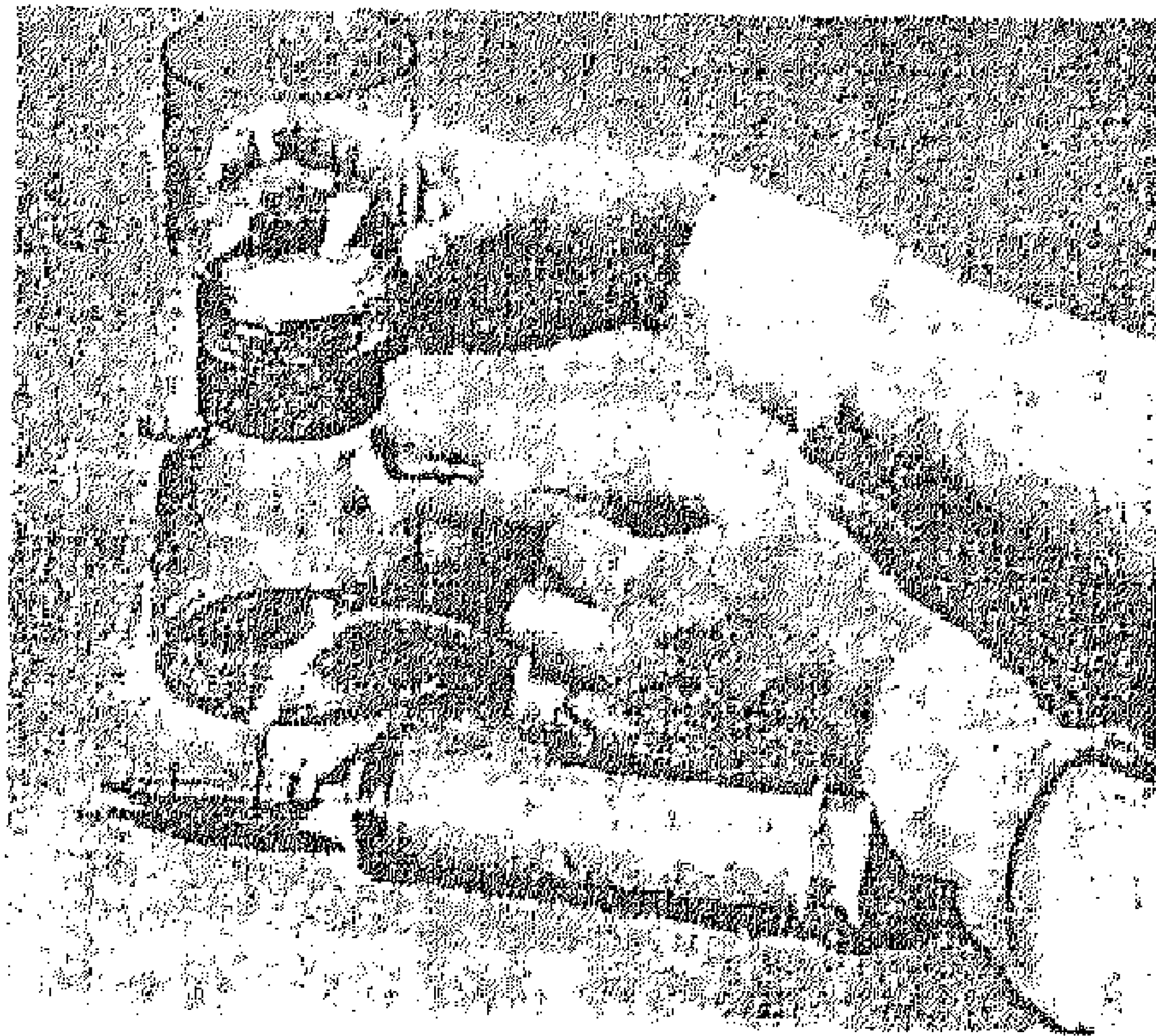
طريقة التخمير بالأنابيب – المتعددة :

Multiple - Tube Fermentation Method :

هذه التقنية مبنية على حقيقة أن كائنات الكوليفورم يمكن أن تستخدم اللاكتوز، السكر الموجود فى اللبن كغذاء وإنتاج غاز. فى هذه الطريقة يتم إضافة حجم معين من عينة

الماء إلى أنبوب محتوى على مادة الغذاء من حساء اللاكتوز الرقيق. قنينة صغيرة مقلوبة فى حساء اللاكتوز تحتجز بعض من الغاز الذى يتم إنتاجه مع نمو بكتريا الكوليفورم وتكاثرها. فقاعة الغاز فى الأنبوب المقلوب مع المظهر المعتم (Cloudy) للحساء يوفر دلالة مرئية أن الكوليفورم يمكن وجوده فى العينة. ولكن فى حالة عدم إنتاج الغاز خلال ٤٨ ساعة من التحضين عند 35°م، فإنه يمكن استنتاج أن الكوليفورم لم يكن موجوداً فى حجم العينة التى تم حقنها فى الحساء. وهذا موضح فى الشكل ٢/٢١.

عدم تكون الغاز بعد التحضين يسمى اختبار سالب (Negative Test)، مظهر الغاز وما يصاحبه عن عتامة فى الحساء يسمى اختبار افتراضى موجب (Postivie Presumptive Test). بعض البكتريا بخلاف الكوليفورم أحياناً تنتج غاز من اللاكتوز. لهذا السبب، يكون من الضرورى عادة عمل اختبار آخر.

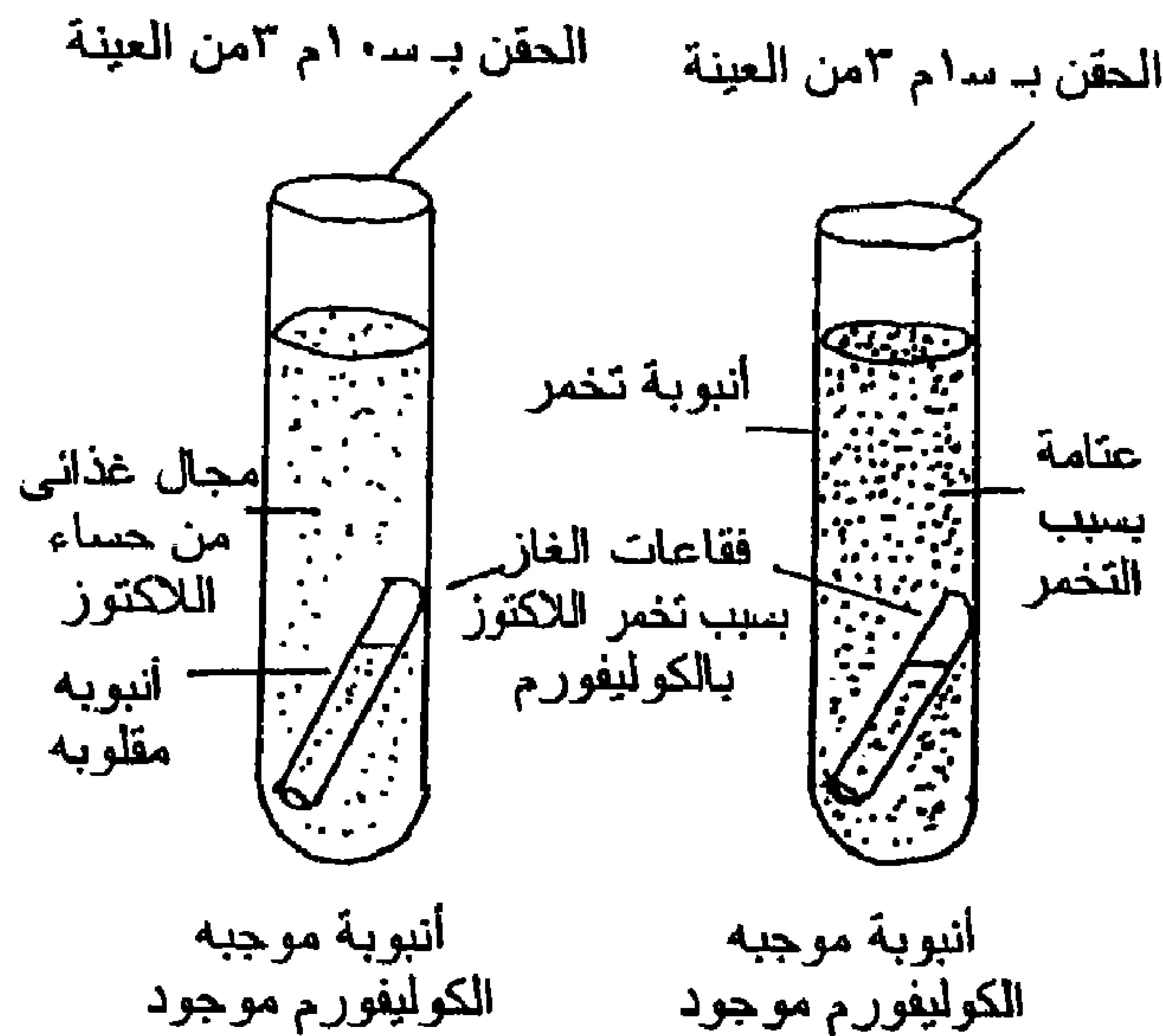


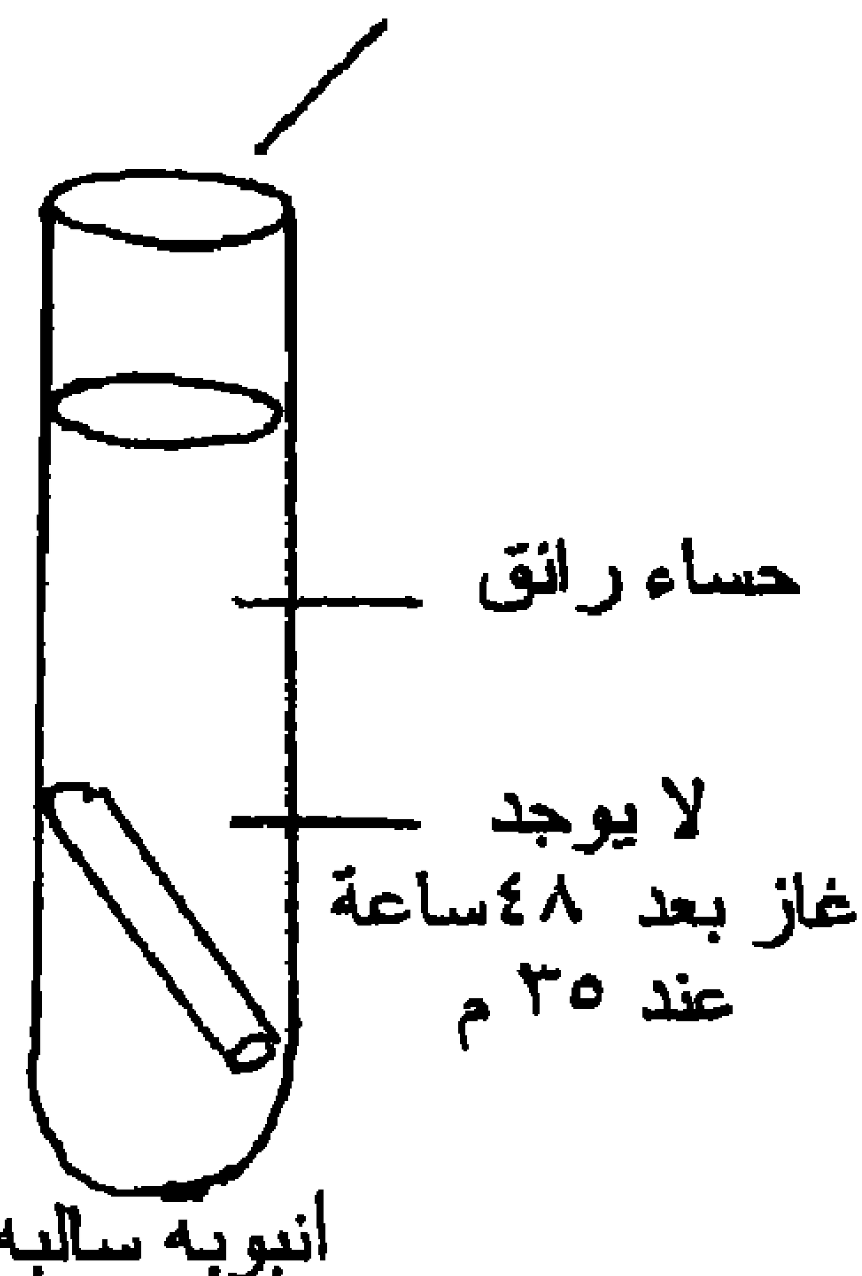
شكل (٢/١٩) جهاز لكشف وعد البكتريا فى المياه ومياه الصرف



تلك التجمعات المرئيه لها خاصيه للشكل الأخضر المعدنى حيث يمكن التعرف عليها سريعا

شكل (٢/٢٠) بعد الترشيح يوضع مرشح الغشاء فى طبق بيترى المحتوى على مجال غذائى تنمو البكتريا فوق الغشاء فى شكل تجمعات مرئية.





شكل (٢/٢١) اختبار موجب فى أنبوبة التخمر (فقاعات الغاز محتجزة وعتامة فى حساء اللاكتوز) مؤشر لاحتمال وجود الكوليفورم فى العينة كلما زاد حجم العينة كلما زاد احتمال اختبار موجب للأنبوبة

اختبار آخر يسمى الاختبار المؤكد، لإثبات أن بكتريا الكوليفورم هى التى أنتجت الغاز فى أنبوبة الاختبار الافتراضى الموجب.

الاختبار المؤكد يشمل المجال الغذائى من أنبوبة الفرضية الموجبة إلى أنبوبة تخمر أخرى التى تحتوى مجال غذائى مختلف، والذى يسمى المرارة الخضراء اللامعة

(Brillinat Green Bile). الآن إذا تكون الغاز خلال ٤٨ ساعة من التحضين عند ٣٥°م، فإن وجود الكوليفورم يصبح مؤكدا. في بعض الحالات، طريقة ثالثة تسمى الاختبار التام (Completed Test)، يمكن عملها. طريقة أنبوب التخمير يمكن استخدامها لاختبار الكوليفورم الغائطي وكذلك الكوليفورم الكلي، ولكن درجة الحرارة المرتفعة تستخدم ٤٤,٥°م تستخدم للكائنات الغائطية.

العد الأكثر احتمالاً : (Most Probable Number)

إنتاج الغاز في أنبوبة تخمير واحدة يمكن أن يبين وجود الكوليفورم، ولكنه لا يعطي أي بيان مؤكد عن تركيز البكتريا في العينة. العد للبكتريا لا يمكن الحصول عليه مباشرة. يمكن أن تكون فقاعة الغاز بسبب بكتريا واحدة أو بالآلاف. لتقدير العدد الحقيقي للكائنات، يجب استخدام عدة سلسلة مضاعفة من أنابيب التخمير بأحجام عينات مختلفة. مع زيادة حجم العينة الموضوعة في أنبوبة التخمير فإن احتمال وجود الكوليفورم في الأنبوبة يزداد. باستخدام نظرية الإحصاء والاحتمالات يمكن تحليل مجموعة النتائج الموجبة والسالبة في سلسلة الأنابيب المضاعفة وتحديد العد الأكثر احتمالاً للكوليفورم في العينة الأصلية، والذي يشار إليه بالرمز (MPN).

يعبر عن العد الأكثر احتمالاً بعدد الكوليفورم في ١٠٠سم٣، ولكن كما هو واضح من التسمية فإنه تخمين مبني على معادلات الاحتمالات وليس العد المباشر للكائنات. التحليل الإحصائي تم استخدامه لعديد من التخفيف للأنبوب.

لتوضيح ذلك فإن قيم العد الأكثر احتمالاً باستخدام سلسلة من تسعة أنابيب موضح في الجدول (٢/٤). تم تلقيح ثلاث من بين التسع أنابيب بـ١٠سم٣ من العينة، ثلاثة تم تلقيحها بـ١سم٣ من العينة، ثلاثة بـ٠,١سم٣. المثال التالي يوضح استخدام الجدول :

جدول (٢/٤) مخطط العد الأكثر احتمالاً و٩٥% حدود الثقة لمجموعات مختلفة لنتائج موجبة وسالبة عند استخدام ثلاثة أجزاء ١٠سم٣، ثلاثة أجزاء ١سم٣، ثلاثة أجزاء ٠,١سم٣.

عدد الأنابيب التى أعطت تفاعل موجب من بين			مؤشر العد الأكثر احتمالاً لكل ١٠٠سم٣	حدود ٩٥% ثقه	
٣ كل ١٠سم٣	٣ كل ١سم٣	٣ كل ٠,١سم٣		أقل	أعلى
صفر	صفر	١	٣	< ٠,٥	٩
صفر	١	صفر	٣	< ٠,٥	١٣
١	صفر	صفر	٤	< ٠,٥	٢٠
١	صفر	١	٧	١	٢١
١	١	صفر	٧	١	٢٣
١	١	١	١١	٣	٣٦
١	٢	صفر	١١	٣	٣٦
٢	صفر	صفر	٩	١	٣٦
٢	صفر	١	١٤	٣	٣٧
٢	١	صفر	١٥	٣	٤٤
٢	١	١	٢٠	٧	٨٩
٢	٢	صفر	٢١	٤	٤٧
٢	٢	١	٢٨	١٠	١٥٠
٣	صفر	صفر	٢٣	٤	١٢٠

٣	صفر	١	٣٩	٧	١٣٠
٣	صفر	٢	٦٤	١٥	٣٨٠
٣	١	صفر	٤٣	٧	٢١٠
٣	١	١	٧٥	١٤	٢٣٠
٣	١	٢	١٢٠	٣٠	٣٨٠
٣	٢	صفر	٩٣	١٥	٤٤٠
٣	٢	١	١٥٠	٣٠	٤٧٠
٣	٢	٢	٢١٠	٣٥	١٣٠٠
٣	٣	صفر	٢٤٠	٣٦	٢٤٠٠
٣	٣	١	٤٦٠	٧١	٢٨٠٠
٣	٣	٢	١١٠٠	١٥٠	٤٨٠٠

المثال :

نتائج اختبار تخمر مجموعة الأنابيب على عينة من ماء النهر كانت كالآتى :

تسلسل التخفيف	النتائج بعد التلقيح
١٠سم٣	٢ موجب
	١ سالب
١سم٣	١ موجب
	٢ سالب
٠,١سم٣	صفر موجب
	٣ سالب

عين العد الأكثر احتمالاً من تلك البيانات :

الحل :

بالدخول فى الجدول (٤/)، عين مكان الصف بـ٢، ١ وصفر فى الأعمدة الثلاثة الأولى، بالتتالى. هذه الأرقام تمثل عدد الأنابيب الموجبة فى كل سلسلة تخفيف. تحت العامود بعنوان (مؤشر العد الأكثر احتمالا) أقرأ العد الأكثر احتمالاً لـ١٥ كوليفورم فى كل ١٠٠سم٣. العامودين الأخيرين من الجدول يبينان الطبيعة الاستاتيكية للعد الأكثر احتمالاً. احتمال ٩٥% أن التركيز الحقيقى للكوليفورم هو لا يقل عن ٣، ولكن لا يزيد عن ٤٤ لكل ١٠٠سم٣.

٥- أخذ عينات الماء : (water Sampling)

الطرق الصحيحة لأخذ العينات هى جزء هام من أى أبحاث حقلية لتقييم نوعية الماء (أو مياه الصرف) ولمراجعة التطابق مع معايير نوعية المياه. العينة التى لا يتم جمعها أو حفظها أو التعرف عليها بطريقة صحيحة سيترتب عليها نتائج غير حقيقية وغير مفيدة، وذلك رغم دقة الأداء لمعمل التحاليل. نظراً لأن نتائج اختبارات نوعية المياه هو الأساس فى القرارات ذات التأثير على الصحة العامة، لذلك فإنه يلزم اتباع طريقة جيدة لأخذ العينات. توجد طريقتان أساسيتان لأخذ العينات وهما الطريقة المخطوفة والطريقة المركبة.

الطريقة المخطوفة لأخذ العينات : (Grab Samples)

الطريقة المخطوفة لأخذ العينات هى عينة واحدة يتم أخذها فى زمن قصير جداً، وأن كانت تستغرق حتى ١٥ دقيقة لملء وعاء أخذ العينة إلا أنها مازالت تعتبر عينة مخطوفة.

من المهم ملاحظة أن نتائج الاختبارات من العينة المخطوفة تمثل فقط حالات المياه أو مياه الصرف فى زمن معين ومكان معين لأخذ العينة. العينات المخطوفة تكون مناسبة جداً عند عمل الاختبار للكلور المتبقى، الرقم الهيدروجينى، الكوليفورم والأكسجين المذاب. وهى يتم جمعها عادة بالطريقة اليدوية. لأخذ العينات الخطوفة من المجرى أو من مياه الصرف، توجد تجهيزات لسهولة الاقتراب من قناة التدفق من القوارب وقنوات التصريف والأرصفة. كما تتوفر أجهزة سحب المياه التى توفر جمع العينة على أعماق محددة أسفل السطح بدون الخلط مع الهواء. وهذا يعتبر هاماً وخاصة عند أخذ عينات الأكسجين المذاب.

العينات المركبة : (Composite Samples)

فى كثير من الحالات تكون العينة المخطوفة وحدها لا تكفى لتوصيف نوعية المياه أو مياه الصرف بطريقة صحيحة، وهذا بالتحديد فى حالات نظم جمع ومعالجة مياه الصرف حيث تتغير كمية ونوعية المياه من ساعة لأخرى. العينات المركبة تكون مناسبة عندما يكون من الضرورى تعيين متوسط أو إجمالى الظروف خلال فترة زمنية معينة.

العينات المركبة يتم الحصول عليها بخلط عينات مخطوفة مأخوذة على فترات منتظمة خلال الفترة الزمنية لأخذ العينات. فمثلاً، العينة المركبة يمكن أن تتكون من خليط من عينات أصغر مأخوذة كل ٢٠ دقيقة خلال فترة زمنية قدرها ٨ ساعات.

فى دراسات مياه الصرف تؤخذ أحجام العينات المخطوفة الصغيرة لعمل العينة المركبة بنسبة معدل التدفق، للحصول على نتائج واقعية. فمثلاً، عند أخذ عينة مخطوفة بحجم ١٠٠سم٣ عند معدل تدفق ٥ لتر/ الثانية، فأن أخذ عينة مخطوفة ٢٠٠سم٣/ث سيكون عند زيادة معدل التدفق إلى ١٠لتر/ث. عادة تستخدم أجهزة أخذ العينات الآلية لأخذ العينات المركبة. تكلفة هذا الجهاز يتم تعويضها بالوفر فى العمالة لجمع العينات والخلط. جهاز أخذ العينات الآلى المثبت فى مطبق موضح فى الشكل (٢/٢٢).

متطلبات عامة :

تختلف طرق أخذ العينات وحفظها طبقاً لمعايير نوعية المياه والتحاليل المطلوب عملها. طريقة أخذ العينات المركبة عددها والفترات الزمنية بينها وأماكنها موضح فى إصدار التحاليل للمياه الأمريكى. الآتى موجز للاعتبارات الأربعة العامة التى يجب مراعاتها لأى نوع من العينات :

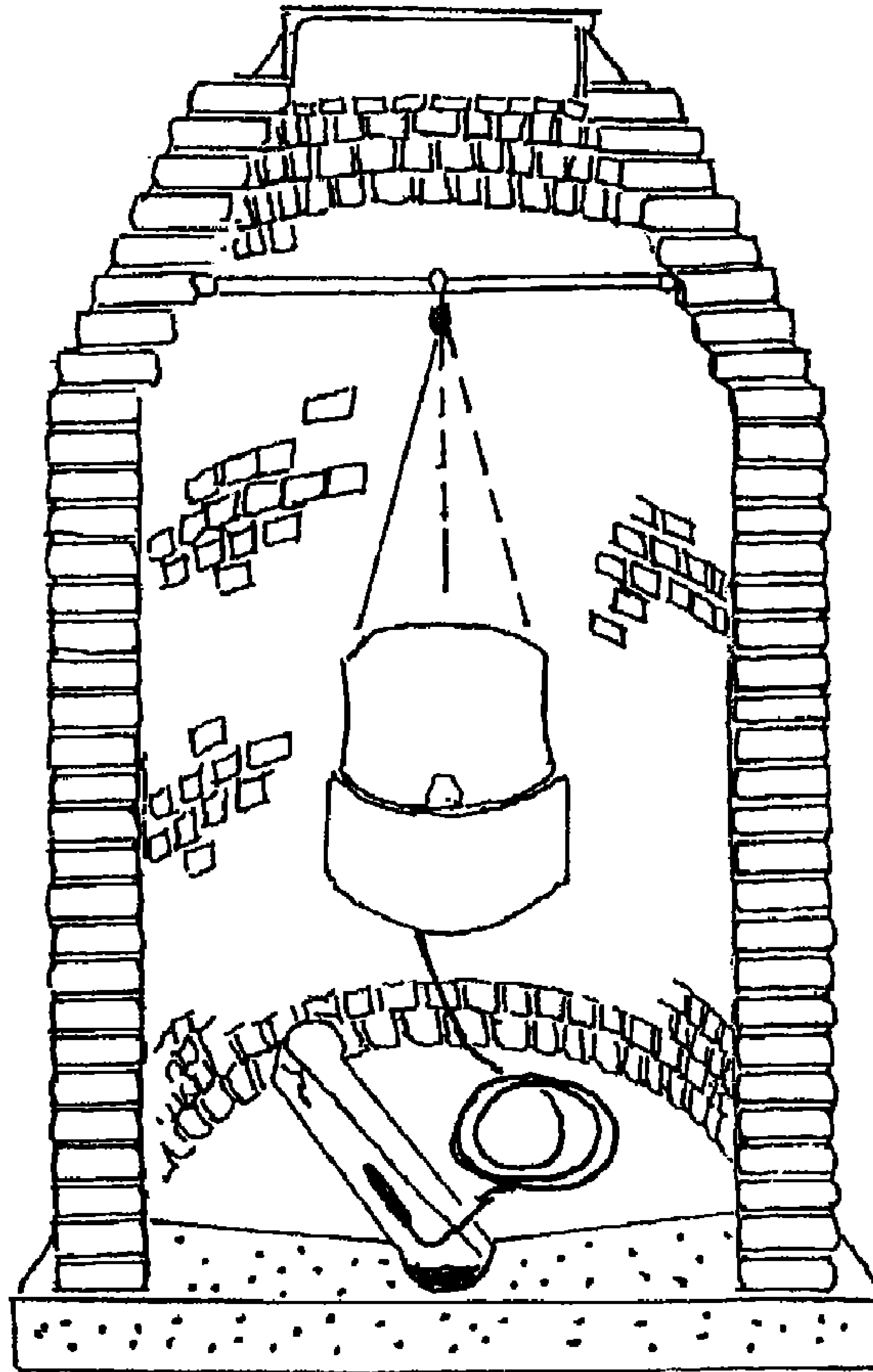
١- يجب أن تكون العينة ممثلة لواقع الحالات الموجودة. فمثلاً، جمع عينة المياه من صنبور قبل فتحه وترك المياه الراكدة تتدفق للحظات سوف لا يعطى نتائج ممثلة للواقع فى شبكة المياه، ولكن فقط للماء الذى كان راكداً فى الخط لمدة زمنية غير معروفة.

٢- الفترة الزمنية بين الجمع والحفظ يجب أن تكون قصيرة ما أمكن لمعظم النتائج التى يعتمد عليها. اختبارات معينة، مثل الكلور المتبقى أو اختبارات درجة الحرارة يجب تعيينها فى الحال. الأكسجين المذاب هو معيار آخر الذى يحتاج إلى التحليل الفورى، رغم أنه من الممكن إضافة كيماويات التى تثبت تركيز الأكسجين المذاب لحين التحليل فى المعمل.

٣- يجب تطبيق تقنيات الحفظ المناسبة لتبطئ التغيرات الكيماوية والبيولوجية التـــى يمكن أن تحدث فى الفترة الزمنية ما بين جمع العينة وتحليلها. وهذا عادة يتطلب التبريـــد للعينة أو التثبيت الكيماوى (كما فى حالة الأكسجين المذاب).

٤- يجب المحافظة على دقة وإتقان تسجيلات أخذ العينات لتجنب أى التبـــاس مثـــل "ماذا، متى، أين" للعينة، وكذلك تنفيذاً لتعليمات تداول وحفظ العينات.

يتم وضع الملصق على زجاجة أخذ العينات لتسهيل التسجيل المتقن لبيانات العينـــة والتى تشمل (نوع التحليل المطلوب - مكان أخذ العينة - توقيت أخذ العينة - القائم بأخذ العينة - نوع العينة سواء كانت روتينية أو أولية أو للمراجعة أو لأغراض خاصـة) أســـم نظام المياه الذى أخذت منه العينة والعنوان، وكذلك يتم على نفس الملصق تسجيل نتـــائج التحليل للعينة وبيانات عن العمل وكذلك التوصيات بخصوص نتائج التحاليل.



شكل (٢/٢٢) جهاز أخذ العينات المركبة يمكن تركه فى غرفة التفتيش،

ليوفر عينة تمثل متوسط حالات التدفق

الفصل الثالث
تنقية المياه للشرب

المياه التى يتم سحبها مباشرة من المصادر السطحية العذبة مثل الأنهار والبحيرات نادراً ما تكون نقية لتناسب الاستهلاك الآدمي وذلك فى حالة عدم معالجتها وتنقيتها. حتى أن المياه التى يتم ضخها من الخزانات الجوفية عادة تتطلب بعض المعالجة لتصبح صالحة للشرب. طبيعة ودرجة المعالجة المطلوبة لإعداد المياه للشرب سواء من المصادر السطحية العذبة أو من المصادر الجوفية تتوقف على نوعية المياه الخام.المياه ذات النوعية الجيدة تتطلب معالجة أقل. عموماً مصدر المياه الخام حيث المحتوى من الكوليفورم حتى ٥٠٠٠٠/١٠٠سم٣ وعكارة حتى ١٠ وحدات تعتبر جيدة عموماً. المياه ذات المحتوى من الكوليفورم الذى يزيد عن ٢٠٠٠٠/١٠٠سم٣ والعكارة أكثر من ٢٥٠ وحدة يعتبر مصدراً غير جيد ويحتاج إلى معالجة مكلفة لإعداد المياه للشرب.

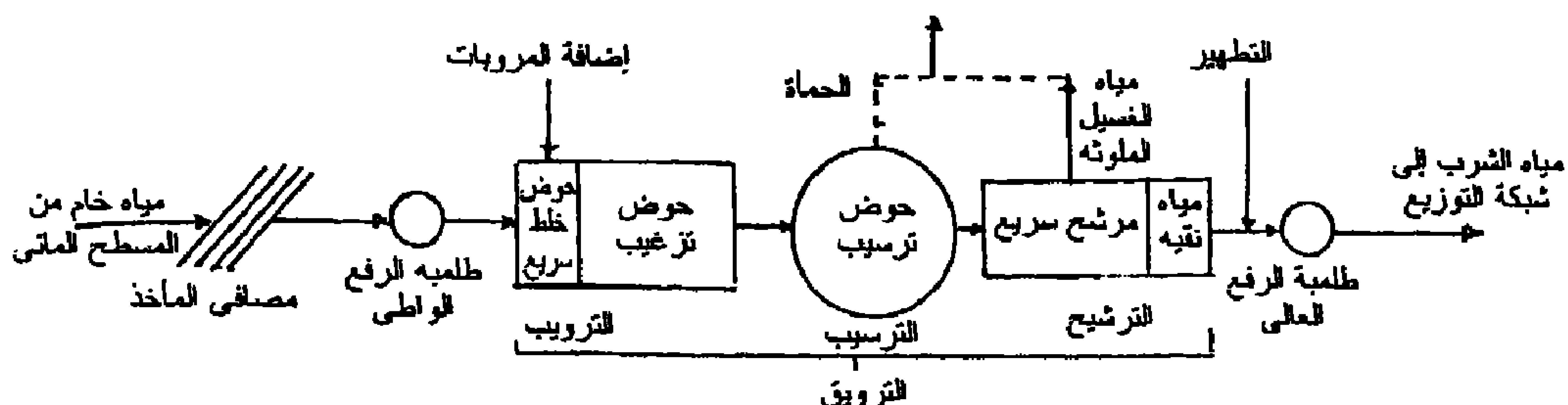
الهدف الأول من تنقية المياه هو إزالة الكائنات الحية الدقيقة والكيماويات الضارة، بما يحد من انتشار الأمراض وحماية الصحة العامة بالإضافة إلى أهمية أن تكون المياه آمنة للشرب. إلا أن المياه يجب كذلك أن تكون مقبولة ومستساغة. حيث أن المياه يجب أن تكون رائقة بللورياً وأن تكون خالية من أى رائحة أو مذاق أو لون غير مستساغ.

عمليات المعالجة التقليدية التى تستخدم لإعداد المياه للشرب سيتم مناقشتها فى هذا الفصل. المياه الجوفية قد تتطلب بعض أنواع المعالجة. فهى عموماً خالية من البكتريا والمواد الصلبة العالقة والمواد الغروية العالقة ذلك بسبب الترشيح الطبيعى الذى يحدث أثناء تسرب المياه خلال التربة. ولكن نظراً لأن المياه الجوفية تكون فى اتصال مباشرة مع مواد التربة أو الصخور، فإنها عادة تحتوى على مواد معدنية مذابة مثل الكالسيوم والحديد.

أدنى مستوى لمعالجة المياه الجوفية هو التطهير بالكلور للتأكد من خلو المياه من البكتريا الضارة. فى حالة وجود أملاح معدنية مذابة بكميات كبيرة فإنه يلزم إجراء بعض العمليات مثل المعالجة الكيماوية، التهوية، الترشيح وعمليات أخرى قد تكون مطلوبة لتنقية المياه ولتكون آمنه ومستساغة للشرب. بعض إمدادات المياه الجوفية وجد أنها ملوثة بتركيزات قليلة من الكيماويات العضوية السامة والتى عادة ما تكون نتيجة الصرف العشوائى للمخلفات الخطرة. إذا كانت عمليات التنقية بالتهوية، الكربون المنشط أو

العمليات الأخرى غير ذات جدوى فإن مياه البئر الملوثة يتم التوقف عن استغلالها للشرب.

إمدادات المياه السطحية عادة تتطلب عمليات معالجة تزيد عن تلك للمياه الجوفية ذلك نظراً لتلوث هذه المصادر بمياه الصرف الصحى والزراعى بالإضافة إلى مواد التربة العالقة (الطفلة والرمال) والمواد العضوية والبكتريا (من تحلل النباتات والمخلفات الحيوانية). مخطط عام لعملية معالجة المياه من المصادر السطحية العذبة لإعدادها للشرب موضح فى الشكل (٣/١).



شكل(٣/١) مخطط لمحطة معالجة المياه السطحية العذبة. المصافى لحجز الأجسام العالقة والطافية، طلمبات الرفع الواطى لرفع المياه إلى حوض الخلط السريع، الترويب ، الترسيب، الترشيح لإزالة العكارة ونقاء المياه، التطهير لتقل الكائنات المسببة للأمراض، طلمبات الضغط العالى لضغط مياه الشرب إلى المستهلك.

الشكل التقليدى لمعالجة المياه السطحية يشمل التنقية (Clarification)، التطهير (Disinfection). التنقية عادة تتم بعملية التزغيب والترويب والترسيب والترشيح، التطهير عادة يتم باستخدام الكلور.

١- معايير مياه الشرب : (Drinking Water Standards)

بناء على أبحاث الصحة العامة فقد أوصت وكالة حماية البيئة بنوعين من مواصفات مياه الشرب وهما النوع الأول والثانى.

المواصفات الأولية مصممة لحماية الصحة العامة وذلك من خلال وضع أقصى مستويات للمواد الضارة فى الماء. أما المواصفات الثانيية فهذه تختص بالخطوط الإرشادية المتعلقة بالقابلية والاستساغة لمياه الشرب والتى لا تشكل خطورة على الصحة العامة مثل الرائحة واللون. لذلك فإن النوع الأول من المواصفات يعتبر اجبارياً والنوع الثانى ليس إجبارى وإن كانت معايير المواصفات لمياه الشرب قد اشترطت كلا النوعين.

معظم المعايير الأولية موصفة كأقصى مستوى للتلوث (Maximum Contamination Levels) (MCL'S) وهذه توصف تقنيات معالجة مطلوبة لتلك الملوثات. كذلك أصدرت وكالة حماية البيئة أقصى مستويات للتلوث، وهو المستوى من التلوث الغير متوقع إحداثه لآثار صحية ضارة وهو معيار غير إجبارى، وعموماً يتم تنقيحه من آن إلى آخر ليتطابق مع أقصى مستوى للتلوث بما تسمح به التكنولوجيا المتاحة والاعتبارات الاقتصادية. أقصى مستويات للتلوث تم تقديرها لتكون صفر بالنسبة للكيماويات المسرطنة ذلك لأن هذه غير معروف مستويات آمنة لها.

أقصى مستوى للتلوث الأولى : (Primary MCL'S)

أقصى مستوى للتلوث بالمواد الضارة أو السامة يعكس المستويات التى يمكن استهلاكها بأمان من الماء، مع الأخذ فى الاعتبار التعرض للمواد من مصادر أخرى. وهذا مبنى على استهلاك ٢ لتر من الماء أو من السوائل ذات الأساس المائى كل يوم.

الملوثات الأولية تشمل الكيماويات العضوية، الكيماويات الغير عضوية، الكائنات الحية الدقيقة، العكارة، المواد المشعة. باستثناء بعض الكائنات الحية الدقيقة، فإن الماء الذى تزيد فيه مستويات أقصى مستوى للتلوث لا يسبب تهديداً مباشراً للصحة العامه. ولكن يجب مراعاة التحكم فى مستوى هذه المواد ذلك لأن مياه الشرب التى تزيد عن المعايير الموصفة مع مرور الوقت يمكن أن تصبح ضارة.

الكيماويات العضوية : (Organic Chemicals)

كثير من المواد العضوية المخلقة ضمن التلوث الأولى. بعض منها مثل البنزين (C6H6) ورابع كلوريد الكربون تعلق سريعاً بالهواء وتعرف أنها المركبات العضوية المتطايرة (Voltatile Organic Compounds) (VOC'S). الجدول (٣/١) يوضح بيان لأقصى مستويات مسموح بها لعدد من الملوثات العضوية. فى إمدادات المياه يجب أخذ عينات منها وتحليلها بالنسبة للكيماويات العضوية كل ثلاث سنوات على الأقل.

جدول (٣/١) أقصى مستوى للملوثات الأولية من الكيماويات العضوية:

الملوثات	الأثر الصحى للملوثات	أقصى مستوى تلوث ملجرام/لتر	المصادر التقليدية
Aldicarb	تأثيرات على الجهاز العصبى	٠,٠٠٣	المبيدات الحشرية
Benzene	احتمال مسرطن	٠,٠٠٥	كيماويات، بويات، مبيدات
رابع كلوريد الكربون	احتال مسرطن	٠,٠٠٥	كيماويات التنظيف، المخلفات الصناعية.
Chlordane	احتمال مسرطن	٠,٠٠٢	المبيدات الحشرية
Endrin	تأثيرات على الجهاز العصبى، الكبد، الكلى	٠,٠٠٢	المبيدات
Heptachlor	احتمال مسرطن	٠,٠٠٤	المبيدات.
Lindane	الجهاز العصبى، الكبد، الكلى	٠,٠٠٠٢	المبيدات
بنتاكلوروفينول	احتمال مسرطن، تأثير على الكبد والكلى	٠,٠٠١	مواد حفظ الأخشاب
Styrene	تأثيرات على الكبد والجهاز العصبى	٠,١	البلاستك، المطاط، الصناعات الدوائية
تولوين	الكلى، الجهاز العصبى، الكبد	١	المذيبات الصناعية، إضافات الجازولين، الصناعات الكيماوية
الترايهالوميناث	احتمال مسرطن	٠,١	الكلوروفورم، نواتج الكلورة لمياه الشرب
تراى كلورو ايثيلين	احتمال مسرطن	٠,٠٠٥	مخلفات مواد التنظيف الجاف، صناعة المبيدات، البويات، مزيلات الشحوم من سطح المعدن
فينيل كلورايد	احتمال مسرطن	٠,٠٠٢	يمكن أن ينتج من غسيل مواسير PVC
إكزايلين	تأثيرات على الجهاز العصبى الكبد، الكلى	١٠	نواتج تنقية الجازولين، البويات، المنظفات، الأحبار

يلاحظ من الجدول (٣/١) أن الملوثات بكميات صغيرة جداً يمكن أن يكون لها تأثير كبير على الصحة. تم تقدير المستويات بالملجرام/لتر حيث ١ ملجرام/لتر يساوى واحد جزء فى المليون. أقصى تركيز للمبيدات كمثال)(Lindane) هو ٠,٠٠٠٢ ملجرام/لتر، يمكن التعبير عن هذه القيمة بـ ٠,٢ ميكروجرام/ لتر وهذه تكافئ ٠,٢ جزء فى المليار.

الكيماويات الغير عضوية :

العديد من المواد الغير عضوية (التى لا تحتوى على الكربون)، خاصة المعادن الثقيلة، موضحة فى الجدول (٣/٢). المياه المعالجة يتم أخذ عينات منها واختبارها بالنسبة للمواد الغير عضوية مرة واحدة كل عام على الأقل. أقصى مستوى للرصاص هو صفر، حيث تم عدم استخدام مواسير الرصاص وكذلك أوقف استخدام الرصاص كمادة خفض لدرجة حرارة معدن اللحام (Flux).

الزرنيخ كمادة سامة معروفة جيداً يمكن أن يلوث إمدادات المياه للشرب فى حالة التصاق هذه المياه الخام بصخور أو مواد معدنية معينة، كذلك يمكن أن يصل الزرنيخ إلى مصادر المياه من الأنشطة الصناعية وأنشطة استخراج المعادن. فقد وجد أن الزرنيخ يوجد بمستويات أعلى فى المياه الجوفية عنه فى المياه السطحية مثل الأنهار والبحيرات. ولقد نصت وكالة حماية البيئة على أن أقصى تركيز للزرنيخ فى مياه الشرب هو ٠,٠١ ملجرام/لتر (١٠ جزء فى المليار) (وهذا يعادل ملعقة شاى من الزرنيخ لكل ٥ مليون لتر من الماء).

مستويات النترات أكثر من ١٠ ملجرام/لتر تسبب تهديداً لصحة الأطفال فى المرحلة العمرية أقل من عام واحد. زيادة تركيز النترات يمكن أن يتفاعل مع الهيموجلوبين فى الدم لإحداث حالة أنيميا المعروفة بالطفل الأزرق (Blue Baby). النترات يمكن أن تصل إلى إمدادات المياه طبيعياً من التربة والمخلفات المعدنية وكذلك من الأسمدة وتلوث الصرف الصحى. والمصادر والآثار الصحية للملوثات الأخرى لمياه الشرب تم تلخيصه فى الجدول (٣/٢).

قانون الرصاص والنحاس : Lead and Copper Rule

تم وضع تقنيات المعالجة للرصاص والنحاس ذلك لأن وجود هذه الكيماويات فى مياه الشرب يكون عادة نتيجة التآكل لمواد السباكة. كل النظم التى لا تتطابق مع المستويات

المطلوبة عند الصنبور مطالبة بتحسين تقنيات معالجة التآكل لخفض مستوى هذه الملوثات. المستوى للرصاص هو ٠,٠١٥ ملجرام/ لتر والنحاس ١,٣ ملجرام/لتر.

جدول (٦/٢) أقصى تركيز للكيماويات الغير عضوية في مياه الشرب

الملوثات	الأثر الصحي	أقصى ملجرام/لتر	المصدر
الزرنيخ	الجهاز العصبي	٠,٠٥	جيولوجيا التربة، المبيدات، المخلفات الصناعية، عمليات صهر المعادن.
الاسبستوس	احتمال مسرطن	٧ مليون شعيرة في اللتر	رواسب التعدين، المواسير.
الباريوم	تأثير على الكلى	٠,٠٠٥	تشطيب المعادن، رواسب التعدين
الكروم	الكبد، الكلى، الجهاز الهضمي	٠,١	تشطيبيات المعادن، رواسب التعدين، صناعة المنسوجات والجلود
النحاس	تأثيرات على الجهاز الهضمي		تآكل مهمات السباكة، مواد حفظ الأخشاب.
السيانيد	تأثيرات على الجهاز العصبي	٠,٢	الطلاء الكهربي، صناعة الألومنيوم، الصلب، البلاستك، الأسمدة.
الفلوريد	تأثير على الأسنان	٤	صناعة الألومنيوم، إضافات لمياه الشرب، رواسب معدنية.
الرصاص	الجهاز العصبي، تأثير على الكلى، سام للأطفال	٠,٠٠٢	تآكل الرصاص.
الزئبق	الكلى، الجهاز العصبي	٠,٠٠٢	التصنيع، مبيدات الفطريات، الرواسب المعدنية.
النيكل	الكلى ، الجهاز العصبي	٠,١	الطلاء الكهربي، البطاريات.
النترات	تأثير الطفل الأزرق	١٠	الأسمدة، الصرف الصحي
السيلينيوم	تأثيرات على الكبد	٠,٠٥	رواسب معدنية، الصهر، استخراج المعادن.

الكائنات الحية الدقيقة :

هذه المجموعة من الملوثات تشمل البكتريا، الفيروسات، البروتوزوا. تستخدم مجموعة الكوليفورم الكلى للبكتريا تستخدم لإظهار احتمال وجود كائنات دقيقة ممرضة. عند اختبار الكوليفورم يتوقف عدد العينات المطلوبة شهرياً على عدد السكان المخدومين وطاقة نظام التوزيع. حالياً تنص المعايير القياسية على أنه يجب عدم وجود الكوليفورم فى أكثر من ٥% من العينات التى يتم اختبارها خلال فترة زمنية مدتها شهر واحد وهذا معروف حالياً بمفهوم (Presence, Absence)، وهو البديل عن أقصى مستويات للتركيز المبنى على عدد الكوليفورم التى تم اكتشافها فى العينة. كل العينات ذات الكوليفورم الموجب يجب اختبارها ثانياً بالنسبة للكوليفورم الغائطى (Fecal Coliforms) أو (E. coli)، حيث وجود هذا الكوليفورم الغائطى هو شهادة قوية للتلوث الحديث بمياه الصرف الصحى كما يبين وجود خطورة عاجلة على الصحة العامة.

اللجيونيلا (Legionella) التى تسبب مرض الجهاز التنفسى، الفيروسات الغائطية وحويصلات الجارديا (حويصلات البروتوزوا) التى تسبب أمراض معوية، هذه موصفة حيث تتطلب معالجة خاصة. قانون معالجة المياه السطحية ينص على أن يتم ترشيحها وتطهيرها لقتل كل الكائنات الصغيرة المسببة للأمراض.

لقد نصت المعايير على خفض تركيزات الفيروسات وحويصلات الجارديا إلى ٩٩,٩% وذلك بدلاً من وضع معايير لأقصى مستوى للتركيز مسموح به فى مصادر المياه. لذلك فإن أقصى مستوى مسموح به لتركيز هذه الكائنات الصغيرة فى مصادر المياه هو صفر ذلك لأن ابتلاع ولو عدد قليل جداً من هذه الكائنات الصغيرة يمكن أن يسبب المرض.

العكارة :

العكارة لها تأثير يزيد عن مجرد مظهر المياه، حيث يمكن أن تشكل خطورة فى مياه الشرب ولذلك فإنه يتم التخلص من العكارة باعتبارها من الملوثات الأولية. العكارة تعيق عملية التطهير بالكلور حيث تحتضن الكائنات الحية الدقيقة وتحميها من تأثير مواد التطهير. أقصى مستوى تركيز للعكارة يعتمد على نوع المعالجة المستخدمة لتنقية المياه. يجب رصد نظم الترشيح التقليدية والمباشرة كل ٤ ساعات على الأقل والحصول على مستويات عكارة أقل من ٠,٥ وحدة عكارة (0.5 NTU).

المواد المشعة : (Radio nuclides)

يمكن حدوث التلوث للمياه بمواد من المخلفات المشعة أو الإنشاءات النووية أو من المواد الطبيعية المشعة. الغاز المشع (Radon 222) مثلاً، يوجد فى أنواع معينة من الصخور حيث يمكن أن يصل إلى المياه الجوفية. يمكن تعرض الإنسان للرادون عند تسرب المياه الملوثة به، أو الاستحمام بالمياه الملوثة أو استخدامها لغسيل الأطباق. (المصدر الرئيسى للتعرض للرادون فى المنزل هو الرادون المتسرب من التربة إلى الهواء السفلى). اختبارات النشاط المشع الذى يمكن أن يسبب السرطان يلزم عملها كل ٤ سنوات على الأقل. أقصى تركيز للرادون فى الماء هو ٣٠٠ بيكورى فى اللتر (300 PCI/L). وأقصى تركيز للراديوم (Radium) هو ٢٠ بيكورى/لتر. توجد حدود كذلك لانبعاثات جسيمات بيتا، الفوتونز (Photones)، جسيمات ألفا.

أقصى مستوى لتركيز الملوثات الثنائية : Secondary MCL'S

يوجد مجال لتركيزات المواد ذات التأثير على قابلية واستساغة مياه الشرب فقط (مثل، المذاق، الرائحة، واللون) ولكن ليس لها تأثير مباشر على الصحة العامة. مستويات التركيز الثنائية موضحة فى الجدول (٣/٣). هذه المستويات هى عبارة عن خطوط إرشادية أو مقترحات مرتبطة بالقابلية العامة للمياه للمستهلكين. يمكن لوزارة الصحة وضع معايير إجبارية بالنسبة لمستويات هذه المواد.

الموضح فى الجدول (٣/) هو تحديث لبيانات مستوى التركيزات الثنائية التى أصدرتها وكالة حماية البيئة (Environmental Protection Agency) (EPA).

جدول (٣/٣) المواصفات الثنائية لمياه الشرب

الملوثات أو التأثير الضار	المستوى المقترح	تأثير الملوث
ألومنيوم	٠,٥ – ٠,٢ ملجرام/لتر	تغير لون المياه
الكلوريد	٢٥٠ ملجرام/لتر	مذاق مالح، تآكل المواسير
اللون	١٥ وحدة لون	لون خفيف مرئى
النحاس	١ ملجرام/لتر	مذاق معدنى، لطع زرقاء على البورسيلين
العدوانية (Corrosivity)	غير عدوانية	مذاق معدنى، تآكل المواسير

		المياه العدوانية يمكن أن تذيب مواد المواسير فى مياه الشرب
الفلوريد	٢ ملجرام/لتر	تلوين الأسنان باللون البنى
مسببات الرغاوى	٠,٥ ملجرام/لتر	مذاق مر، رائحة، رغاوى منفرة
حديد	٠,٣ ملجرام/لتر	مذاق معدنى مر، لون الصدأ، لطع على الملابس، رواسب
منجنيز	٠,٠٥ ملجرام/لتر	مذاق، لطع على الغسيل، لون بنى غامق، لطع سوداء
الرائحة	رقم رائحة (٣)	بيض فاسد، رائحة كيماوية
الرقم الهيدروجينى (pH)	٦,٥ - ٨,٥	الرقم الهيدروجينى المنخفض يعطى مذاق معدنى، يحدث تآكل . الرقم الهيدروجينى المرتفع: يعطى مذاق الصودا، رواسب، إحساس بوجود مادة لازقة
الفضة	٠,١ ملجرام/لتر	تغير لون الجلد، العين الرمادية
الكبريتات	٢٥٠ ملجرام/لتر	مذاق ملحى، تأثير الإسهال، المذاق واحتمال العلاقة بين العسر المنخفض وأمراض القلب وكذلك دليل للعدوانية
الزنك	٥ ملجرام/لتر	مذاق معدنى

طرق أخذ العينات : (Sampling Procedures)

معدلات أخذ العينات تختلف بالنسبة لكل مجموعة من الملوثات وكذلك لكل ملوث فى داخل كل مجموعة. وهى تعتمد كذلك على عدد السكان الذين يتم خدمتهم وكذلك مـــا إذا كان الماء المستخدم من المصادر السطحية أو من المصادر الجوفية. معدلات أخذ العينات

قد تتراوح ما بين مرة كل أربع ساعات بالنسبة للعكارة إلى مرة كل تسع سنوات بالنسبة للأسبستوس. اكتشاف أن نسبة الملوث قد تعدت مستوى معين يمكن أن يزيد من معدلات أخذ العينات حتى فى حالة عدم زيادة أقصى مستوى للتلوث.

معظم العينات يجب جمعها عند أماكن ممثلة لنوعية المياه خلال نظام التوزيع. عموماً عينات مياه الشرب تكون تامة الدفق (Fully Flushed) وهذا يعنى أن الماء قد تدفق فى الخط الرئيسى لمدة زمنية طويلة كافية لتمثيل المياه فى الخط الرئيسي وليس فى السباكة المنزلية. الاستثناء لذلك هو لرصد النحاس والرصاص حيث يكون المطلوب عينة السحب الأول عند صنبور المستهلك حيث احتمال حدوث التلوث يكون كبيراً.

بعض العينات يجب جمعها فى أوعية زجاجية والبعض الآخر فى أوعية من البلاستيك. أحجام العينات تختلف طبقاً لنوع الملوث حيث تتراوح ما بين ١٠٠ سم٣ بالنسبة لعينة الكوليفورم إلى واحد لتر لعينات بعض المواد المشعة، والبعض الآخر يمكن توصيله إلى المعمل عند درجة الحرارة العادية. زجاجات العينات للكيماويات العضوية المتطايرة (VOC'S) يجب أن تملأ عن آخرها بدون ترك فراغ للهواء. أقصى فترة زمنية مسموح بها ما بين جمع العينة والتحليل فى المعمل يمكن أن تتراوح ما بين يوم واحد للكوليفورم إلى عام واحد للعينة المشعة.

التسجيل والتقدير : (Record Keeping and Reporting)

التسجيل الجيد يعتبر هاماً لحسن أداء نظام المياه. فهو يوفر البيانات عن الخطط المستقبلية، معلومات المواطن، قوانين الحماية. لذلك فإن تسجيل نوعية المياه ونتائج الاختبارات والإجراءات التى تم اتخاذها للتصحيح، حيث يجب الاحتفاظ بهذه التقارير فى دوسيه لمدة زمنية تصل إلى ١٢ عام.

تسجيل البيانات عن نتائج تحاليل أقصى تركيز للملوثات بالنسبة للبكتريا والكيماويات يعتبر ذو أهمية خاصة. التسجيل يجب أن يشمل اسم، تاريخ، ومكان أخذ العينة، واسم من قام بأخذ العينة، نوع العينة، والمكان، والطريقة، التاريخ ونتائج التحاليل.

٢- الترسيب : Sedimentation

الملوثات فى المياه يمكن أن تكون مذابة أو عالقة. الطريقة السهلة لإزالة المادة العالقة هى لترك المهمة لقوى الجاذبية. فى حالات عدم الاضطراب عندما تكون سرعة التدفق والاضطراب عند أدناها، فإن الجسيمات ذات الكثافة الأعلى من كثافة الماء يمكنها أن

ترسب إلى قاع الحوض. هذه الطريقة تسمى الترسيب، وطبقة تراكمات المواد الصلبة عند قاع الحوض تسمى الحمأة (Sludge). والحوض يسمى حوض الترسيب أو المروق. السرعة التى ترسب بها الأجسام العالقة نحو قاع الحوض تتوقف على حجم الأجسام العالقة وكثافتها. الأجسام الأكبر فى الحجم والأثقل فى الكثافة سوف ترسب أسرع عن الأجسام الأصغر والأخف. القوى التى تعارض قوة الرسوب إلى أسفل بالجاذبية تشمل الطفو (Buoyancy) والاحتكاك (Friction). درجة حرارة ولزوجة الماء هى عوامل إضافية ذات التأثير على معدل رسوب الأجسام. طبيعة عملية الترسيب تتغير كذلك طبقاً لتركيز المواد العالقة واستعدادها للتفاعل مع بضعها البعض. فى حالة المواد العالقة المخففة (Dilute Suspension)، حيث الجسيمات تكون حرة لترسب بدون أى تداخلات، فإن العملية تسمى الترسيب الحر أو (Discrete Settling). مع زيادة التركيز، تميل الجسيمات للالتصاق والتداخل فى حرية الحركة وهذه تسمى أحياناً الترسيب بالإعاقة (Hindering Settling). فى حوض الترسيب يوجد حتى أربع مناطق للترسيب والتى تحدث عند أعماق مختلفة، وهى منطقة الدخول ومنطقة الخروج ومنطقة الترسيب ومنطقة تجميع المواد المرسبة (الحمأة).

زمن المكث : (Detention Time)

فى حالة ترك حجم من الماء فى حوض بدون أى اضطراب ولعدة أيام أو أسابيع، فإن حوالى كل المواد الصلبة العالقة ستكون لديها الفرصة لترسب نحو القاع. حتى أن بعض البكتريا ذات الحجم المجهرى سوف ترسب. ولكن هذه الطريقة ليست عملية فى محطات معالجة مياه الشرب ذلك لأنها تتداول أحجام ضخمة من المياه على أساس التدفق المستمر. إنه ليس مجدياً قفل المحبس ببساطة لإيقاف التدفق وترك الحجم من الماء بدون اضطراب فى الحوض لفترة زمنية طويلة. حيث فى هذه الحالة يلزم توفير أعداد كبيرة من الخزانات الضخمة. البديل، فإنه يتم تصميم أحواض الترسيب لمعالجة المياه ومياه الصرف لتعمل مع استمرار التدفق ببطء من مدخل الحوض إلى مخرج الحوض. حركة المياه تكون بطيئة بما يكفى لتسمح بالترسيب الحر بنسبة كبيرة للمواد الصلبة العالقة. عموماً تظل المياه فى الحوض لساعات قليلة فقط وذلك قبل وصولها إلى مخرج الحوض. كمية الوقت النظرية التى تمكث فيها المياه فى الحوض تسمى زمن المكثف (Detention Time) ويمكن حسابها كالآتى :

$$T_D = \frac{V}{Q} \qquad (1)$$

حيث :

T_D = زمن المكث

V = حجم الماء فى الحوض

Q = متوسط معدل التدفق (الحجم على وحدة الزمن)

زمن المكث عادة يعبر عنه بالساعات. من المهم استخدام وحدات معلومة لكل من Q , V لتكون المعادلة صحيحة الأبعاد.

أدنى زمن مكث هو ثلاث ساعات لتأكيد الترسيب الجيد، حيث تصل معظم المواد الصلبة العالقة إلى قاع الحوض خلال هذه الفترة الزمنية. المثال التالى يوضح استخدام المعادلة.

مثال :

حوض ترسيب سعته ١٥٠٠٠ متر مكعب. إذا كان معدل التدفق لدخول الحوض هو ١٢٠ مليون لتر فى اليوم، ما هو زمن المكث؟

الحل :

يتم أولا تحويل المتر المكعب إلى ملايين اللترات أو العكس، لتوحيد القيم اختيار تحويل الحجم إلى الميجاليتر يعطى

الحجم = ١٥٠٠٠ متر مكعب × ١٠٠٠ لتر/م٣ = ١٥ مليون لتر

باستخدام المعادلة $T_D = \frac{V}{Q}$

$$\therefore T_D = \frac{\text{١٥ مليون لتر}}{\text{١٢٠ مليون لتر/اليوم}} = \text{٠,١٢٥ يوم}$$

بالتحويل إلى الساعات

T_D = ٠,١٢٥ يوم × ٢٤ ساعة/ اليوم = ٣ ساعة

مثال ٢:

معدل تدفق المياه ٦ مليون جالون فى اليوم ليكون زمن المكث فى حوض الترسيب ٣ ساعات. احسب الحجم المطلوب للحوض بالقدم المكعب. إذا كانت المساحة السطحية للحوض هى ١٠٠٠٠ قدم مكعب، ما هو العمق الذى سيكون عليه الماء فى الحوض؟

الحل :

حيث أنه من الضرورى أن يتم الحل للحجم، أولا يتم إعادة صياغة المعادلة لتكون V = Q × TD. ثم تحويل معدل التدفق من الوحدات بالمليون جالون فى اليوم إلى الجالون فى الساعة كالآتى :

Q = ٦٠٠٠,٠٠٠ جالون/اليوم × ١يوم/٢٤ ساعة

= ٢٥٠,٠٠٠ جالون/ الساعة،

$V = Q \times T_D$ = ٣ ساعة × ٢٥٠,٠٠٠

= ٧٥٠,٠٠٠ جالون

تحويل الجالونات إلى قدم مكعب نحصل على

V = ٧٥٠,٠٠ جالون × ١ قدم مكعب/ ٧,٥ جالون

= ١٠٠,٠٠٠ قدم مكعب

حيث أن حجم الحوض يمكن التعبير عنه كناتج العمق فى المساحة السطحية (الحجم = العمق × المساحة)، يمكن حساب عمق الماء بقسمة الحجم على المساحة السطحية أو

١٠٠,٠٠٠ قدم مكعب ÷ ١٠,٠٠٠ قدم مربع = ١٠ قدم عمق.

معدل التدفق العلوى أو التحميل السطحى : (Over Flow Rate)

العامل الآخر الهام فى تصميم وتشغيل حوض الترسيب هو معدل التدفق العلوى أو التحميل السطحى (Surface Loading).

يتم حسابه كالآتى :

$$V_O = \frac{As}{Q} \qquad (٢)$$

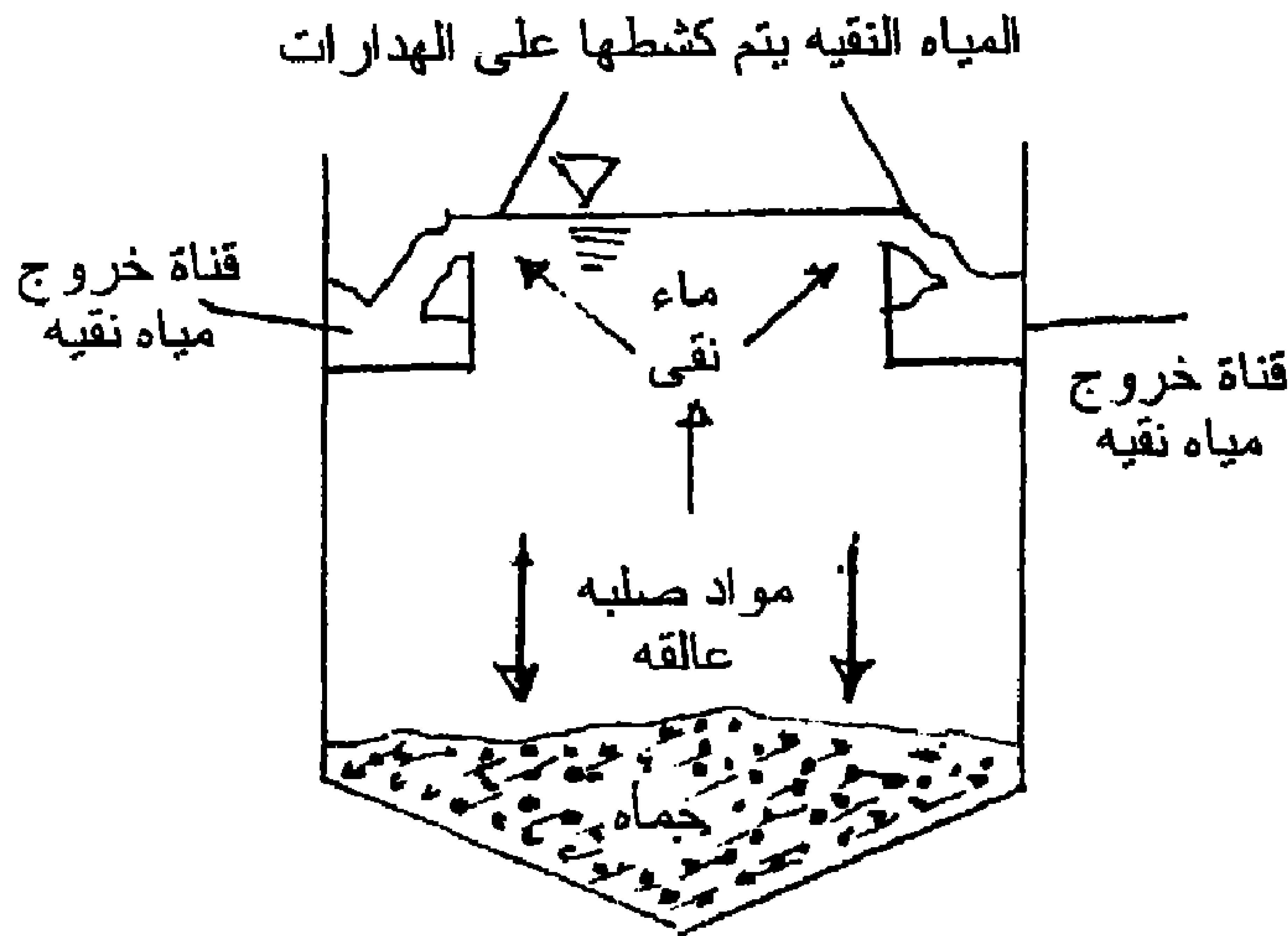
حيث V_0 = التحميل السطحى

Q = متوسط معدل التدفق.

A_S = المساحة السطحية للحوض.

بالنسبة للوحدات المترية يعبر عن التحميل السطحى بالمتر المكعب على المتر المربع فى اليوم (م٣/م٢/اليوم)، معدل التدفق يعبر عنه بالمتر المكعب فى اليوم، المساحة السطحية بالمتر المربع. أقصى تحميل سطحى هو ٣٣ متر مكعب/ المتر المربع. فى اليوم. أو ٨٠٠ جالون فى اليوم/ القدم المربع.

مقطع الحوض الموضح فى الشكل (٣/٢) يوضح الإطار العام للتدفق. المياه الرائقة يتم كشطها من السطح مع تدفقها فوق الهدارات إلى قناة تجميع المياه الرائقة. كل الجسيمات العالقة التى ترسب عند سرعة أعلى من V_0 تصل طبقة الحمأة عند قاع الحوض. جزء فقط من الجسيمات الأصغر والأخف التى ترسب عند سرعات أقل من V_0 يتم إزالتها من الماء قبل ترك الماء للحوض.



شكل (٣/٢) مخطط لعملية الترسيب

مثال ٣:

ما هى أدنى سرعة ترسب بالقدم فى الساعة، للجسيمات العالقة التى يمكن إزالتها كلية فى حوض الترسيب حيث التحميل السطحى هو ٧٠٠ جالون فى اليوم/ القدم المربع؟

الحل :

$$\frac{\text{٧٠٠ جالون}}{\text{قدم مربع} \times \text{اليوم}} \times \frac{\text{١ قدم مكعب}}{\text{٧,٥ جالون}} \times \frac{\text{١ يوم}}{\text{٢٤ ساعة}} = \text{٣,٩ قدم/الساعة}$$

جزء فقط من الجسيمات التى ترسب أبطأ من ٣,٩ قدم/الساعة تتم إزالته، كلما كانت سرعة الترسيب بطيئة، كلما قلت نسبة الإزالة. فمثلاً، ٢٠% من الجسيمات التى ترسب عند سرعة ٠,٢ × ٣,٩ = ٠,٧٨ قدم/ الساعة يتم اقتناصها فى طبقة الحمأة.

تصميم حوض الترسيب : (Settling Tank Design)

عند جمع القيم الموصفة لكل من زمن المكث والتحميل السطحى فإنه يمكن تعيين الأبعاد المطلوبة لحوض الترسيب. أحواض الترسيب يمكن إما أن تكون مستطيلة أو مستديرة. العمق الحقيقى للماء فى الحوض يسمى عمق جانب الماء (Side Water Depth). ارتفاع جدار الحوض يكون عادة ما بين ٠,٤٥ متر أو ١,٥ قدم أعلى من منسوب سطح الماء (عمق جانب الحوض). وهذا يسمى الاتساع الحر وهو يساعد على عدم طرطشة الماء فوق أجناب الحوض. المثال التالى يوضح كيف أنه يمكن تعيين أبعاد حوض الترسيب.

مثال :

حوض ترسيب مستدير أدنى زمن مكثف له يجب ألا يقل عن ٤ ساعات وأقصى تحميل سطحى ٢٠ متر مكعب/ المتر المربع. عين القطر المطلوب للحوض وكذلك عمق جانب الماء إذا كان متوسط معدل التدفق خلال الحوض هو ٦ مليون لتر/اليوم.

الحل : باستخدام المعادلة $T_D = \frac{V}{Q}$، احسب الحجم المطلوب

حيث $V = T_D \times Q$

= ٦ مليون لتر/ اليوم × ١يوم/٢٤ ساعة × ٤ ساعة

= ١ مليون لتر = ١٠٠٠,٠٠٠ لتر

لتحويل الحجم إلى متر مكعب = ١٠٠٠٠٠٠ ÷ ١٠٠٠ = ١٠٠٠ متر مكعب

قبل استخدام المعادلة $V_O = \frac{As}{Q}$ يكون من المناسب تحويل معدل التدفق إلى وحدات متر مكعب فى اليوم

Q = ٦ مليون لتر فى اليوم = ٦٠٠٠ م٣ فى اليوم

لحساب المساحة السطحية

$$As = \frac{Q}{V_0} = \frac{\text{٦٠٠٠ متر مكعب في اليوم}}{\text{٢٠ متر مكعب/متر مربع فى اليوم}} = \text{٣٠٠ متر مربع}$$

لتعيين قطر الحوض، استخدم معادلة مساحة الدائرة

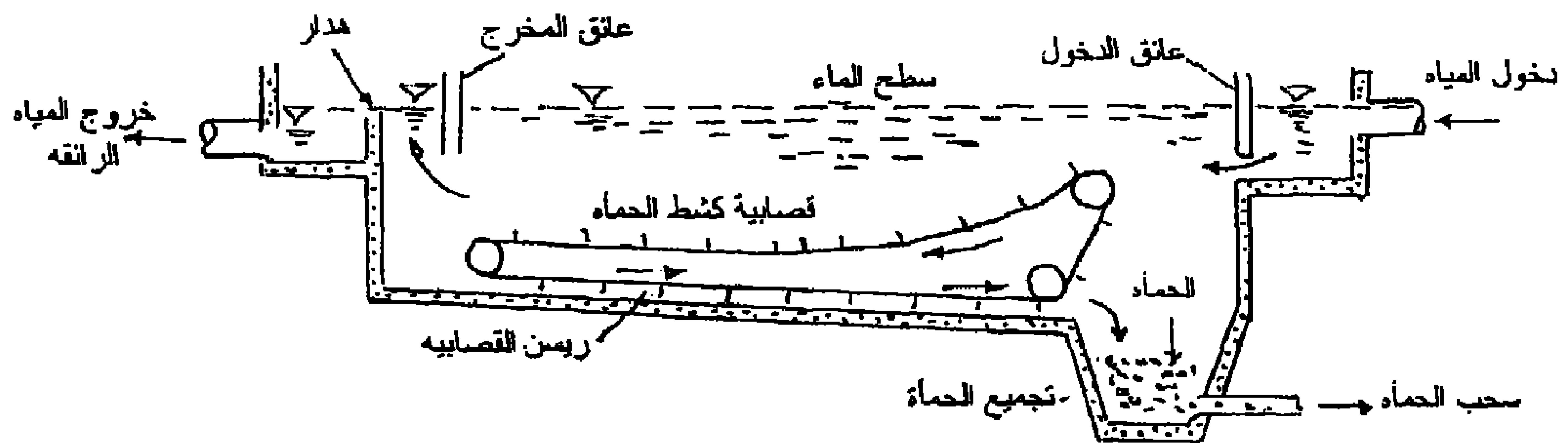
$$A = \pi D^2/4$$

حيث $D = \sqrt{4A/\pi} = \sqrt{(300 \times 4)} \div \pi = 20$ متر

حيث أن V = As × عمق جانب الماء

$$\therefore \text{عمق جانب الماء} = \frac{V}{As} = \frac{\text{١٠٠٠م٣}}{\text{٣٠٠م٢}} = \text{٣,٣٣ متر}$$

فى حوض الترسيب المستطيل فإن المياه الداخلة إلى الحوض (Influent) يتم توجيهها مقابل عائق (Baffle) الذى يوزع الماء بانتظام عبر عرض الحوض ويوفر سرعة سفلية للتدفق. وهذا موضح فى الشكل (٣/٣). المياه الخارجة من الحوض (Effluent) يتم كشطها من السطح فوق هدارات (Weirs) موضوعة فى الناحية العكسية للحوض. سلسلة من الألواح الخشبية التى تتحرك على سلسلة مستمرة لكشط الحمأة ودفعها خلال قادوس التجميع، حيث يتم ضخها خارج الحوض.

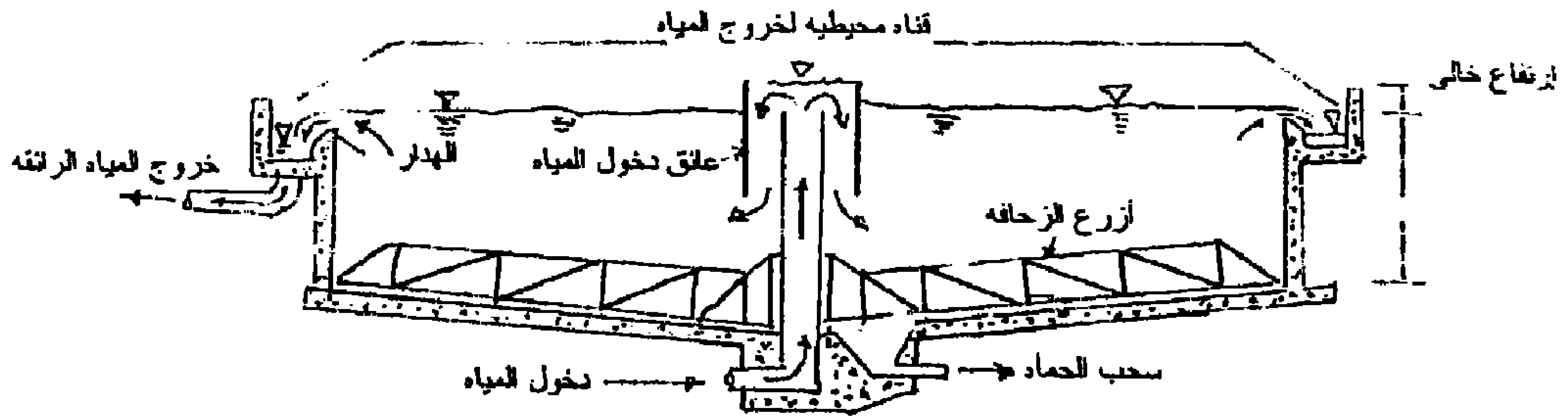


شكل (٣/٣) مقطع مبسط لحوض الترسيب المستطيل.

القصابية ذات السلاسل بطيئة الحركة تدفع الحمأة نحو القادوس لإزالتها.

فى المروق الأسطوانى، عادة تدخل المياه عند المنتصف وتتدفق محيطياً إلى الخارج نحو هدار المخرج المنشأ على طول المحيط الداخلى للحوض. كما توجد زحافة دوارة لتحريك الحمأة نحو قادوس التجميع المركزى. وهذا موضح فى الشكل (٣/٤).

مهما يكن شكل حوض الترسيب، فإن المداخل والمخارج يجب أن يتم تصميمها بحرص لمنع حدوث التيارات التى يمكن أن تعيد رفع الحمأة بعد ترسيبها. يكون كذلك من الضرورى تجنب حالة قصر المسافة (Short Circuiting) للتدفق. فى هذا المجال فإننا نعنى بقصر المسافة الحالة التى يكون فيها معظم الماء يتدفق خلال الحوض فى فترة زمنية أقل كثيراً عن زمن المكث الذى تم حسابه. تأثيرات الترسيب يمكن أن تقل كثيراً فى حالة حدوث قصر المسافة.



شكل (٣/٤) مقطع مبسط لحوض الترسيب المستدير.

أذرع الزحافة الدوارة تحت الحمأة المرسبة إلى قادوس

مركزى لسحب الحمأة والتخلص منها.

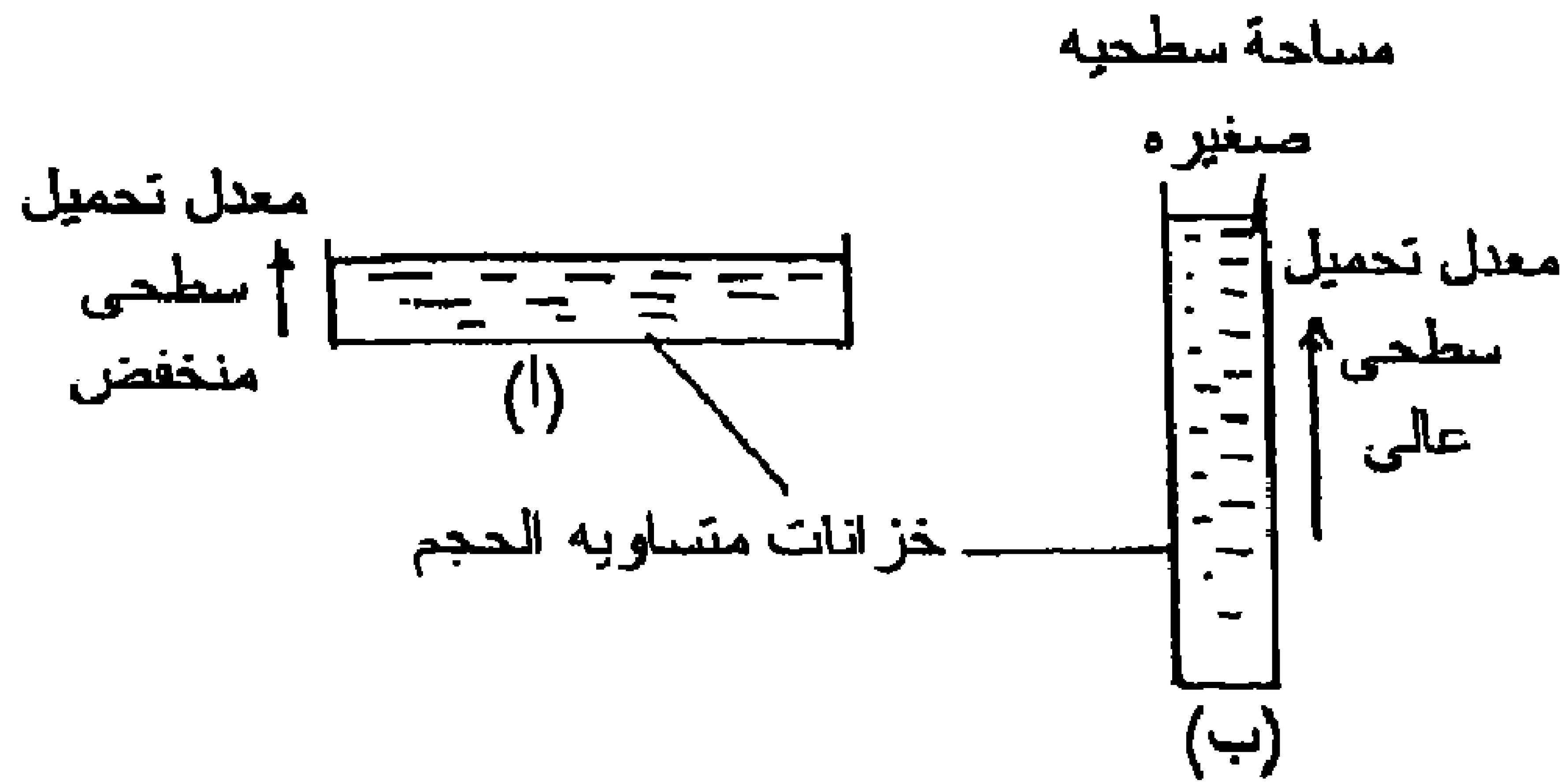
هدارات الخروج فى حوض الترسيب يتم تصميمها لتعمل عند ظروف أدنى ضغط وأدنى سرعة، لتقليل الفرصة لأن تحمل الجسيمات إلى أعلى مع المياه الخارجة. الطول الكلى للهدار يجب أن يكون طويلاً بما يحقق معدل تدفق لكل متر أو قدم من الهدار أقل من أقصى قيمة موصفة، والتى تسمى معدل التحميل للهدار (Weir Loading Rate). هذه الهدارات تتكون عادة من عديد من الفتحات على شكل حرف (V) بينها فواصل متساوية فى لوح معدنى طويل.

تتدفق المياه الخارجة خلال الفتحات حرف V إلى قناة تسمى (Launder Channel) والتى توجه التدفق إلى ماسورة المخرج.

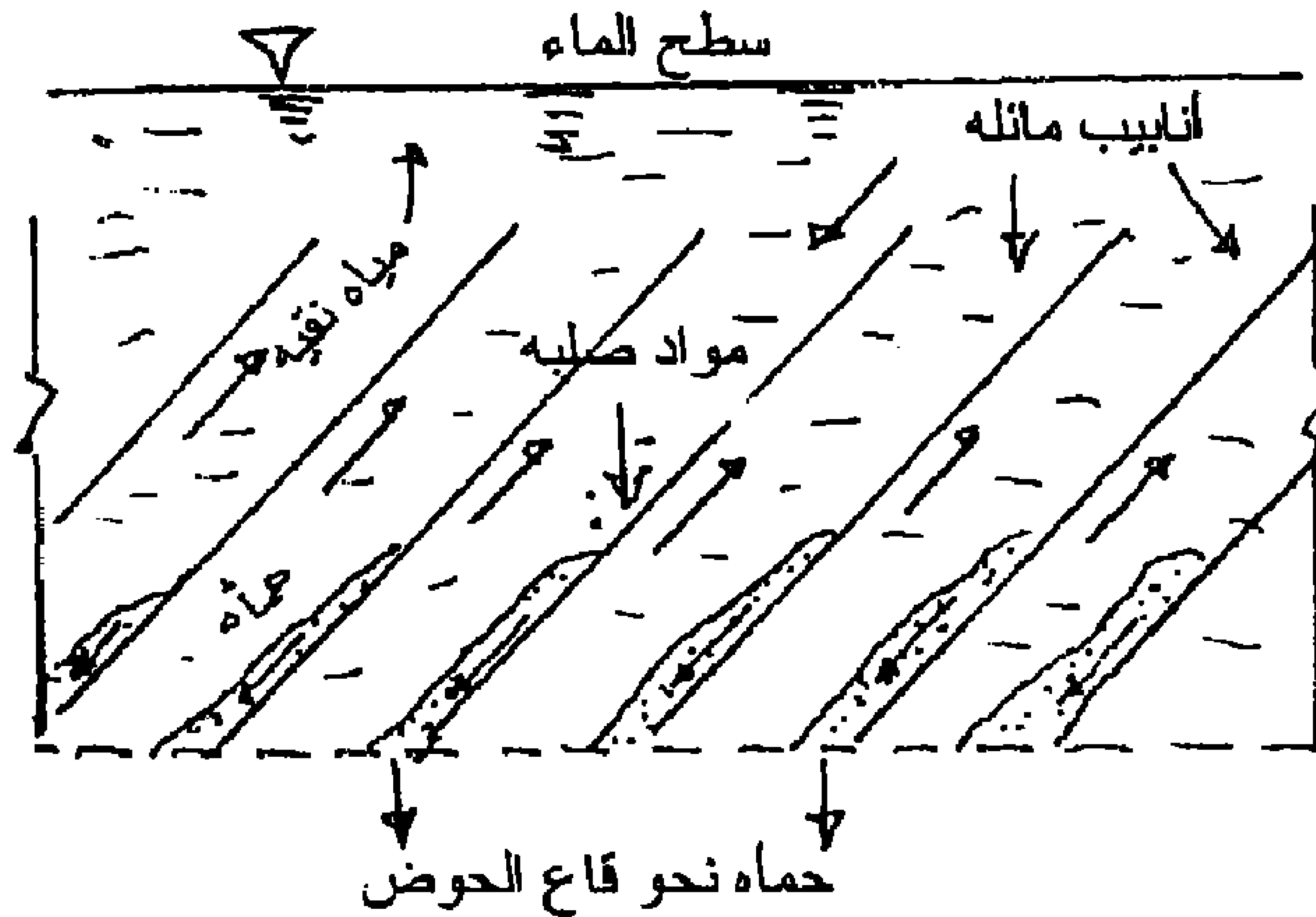
تتوقف قدرة وتأثير حوض الترسيب فى إزالة المواد الصلبة العالقة على المساحة السطحية أكثر منه على الحجم الكلى أو زمن المكث. يمكن ملاحظة من المعادلة رقم (٢) أنه بالنسبة لمعدل تدفق معين Q ومع زيادة المساحة السطحية (As) فإن معدل التدفق العلوى Vo (أو التحميل السطحى) ينخفض. لذلك، فإن أقصى سرعة ترسيب للجسم العالق للإزالة الكاملة تنخفض كذلك مع زيادة المساحة السطحية. لهذا، فإن الحوض الضحل الذى له مساحة سطحية كبيرة سوف يكون أكثر تأثيراً عن الحوض العميق بنفس الحجم، ولكن المساحة أقل. وهذا موضح فى الشكل

(٣/٥). ولكن معظم أحواض الترسيب تكون بعمق لا يقل عن ٣ متر، وذلك لتوفير مكان لطبقة الحمأة وكذلك لعمل كاشطة الحمأة الآلية.

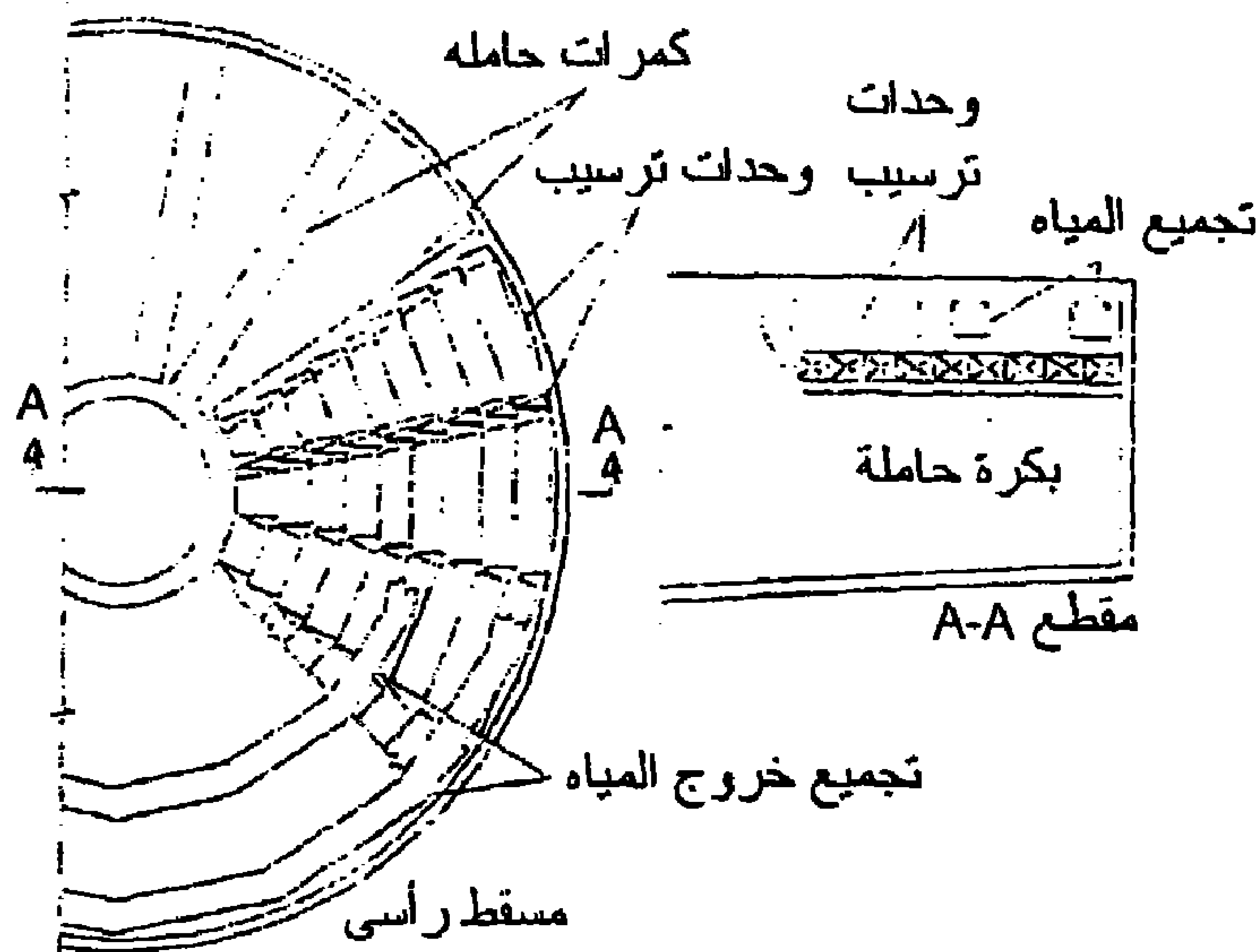
فكرة الترسيب بالعمق الضحل، تستخدم حالياً عند تصميم أحواض ترسيب جديدة أو بغرض زيادة طاقة وكفاءة أحواض الترسيب الموجودة. يمكن استخدام وحدات سابقة التجهيز، أو وحدات تحتوى على العديد من الأنابيب المائلة وإنشائها قريباً من قمة الحوض لزيادة المساحة السطحية المؤثرة. وهذا موضح فى الشكل (٣/٦). كما هو مبين من هذا الشكل يتم الإمساك بالجسيمات العالقة فى الماء عند التدفق لأسفل للحمأة فى كل أنبوب، بينما المياه الرائقة تتدفق لأعلى نحو هدارات المخرج. نموذج للترسيب بالأنابيب موضح فى الشكل (٣/٧).



شكل (٣/٥) الحوض الضحل (أ) له معدل تحميل سطحى أقل من (ب) لأن له مساحة سطحية أكبر. فهو أكثر كفاءة فى إزالة المواد الصلبة العالقة مقارنة بالحوض الأكثر عمقاً.



شكل (٣/٦) عدد من الأنابيب المائلة لوحدة الترسيب يزيد من كفاءة المساحة السطحية لحوض الترسيب. المواد الصلبة القابلة للترسيب تحتجز بسرعة فى الحمأة التى تتدفق إلى اسفل فى كل أنبوبة، بينما الماء النقى يتدفق لأعلى.



شكل (٣/٧) يمكن إنشاء أنابيب الترسيب فى حوض ترسيب جديد أو موجود لزيادة كفاءة الإزالة للمواد الصلبة العالقة.

٣- الترويب والترغيب: (Coagulation and Flocculation)

لا يمكن الإزالة الكاملة للأجسام العالقة من الماء بالترسيب الحر فقط، حتى فى حالة توفير زمن ترسيب طويل جداً ومعدل تحميل سطحى منخفض. بعض الجسيمات الصغيرة جداً والمسببة للعكارة والتى تسمى المواد الغروية (Colloids)، لا ترسب بالجاذبية بدون بعض المساعدات. فى حالة الخلط السريع لكيماويات معينة والتى تسمى كيماويات الترويب (Coagulants) مع الماء تم التقليب البطئ للخليط قبل حدوث الترسيب، فإن الجسيمات سوف ترسب.

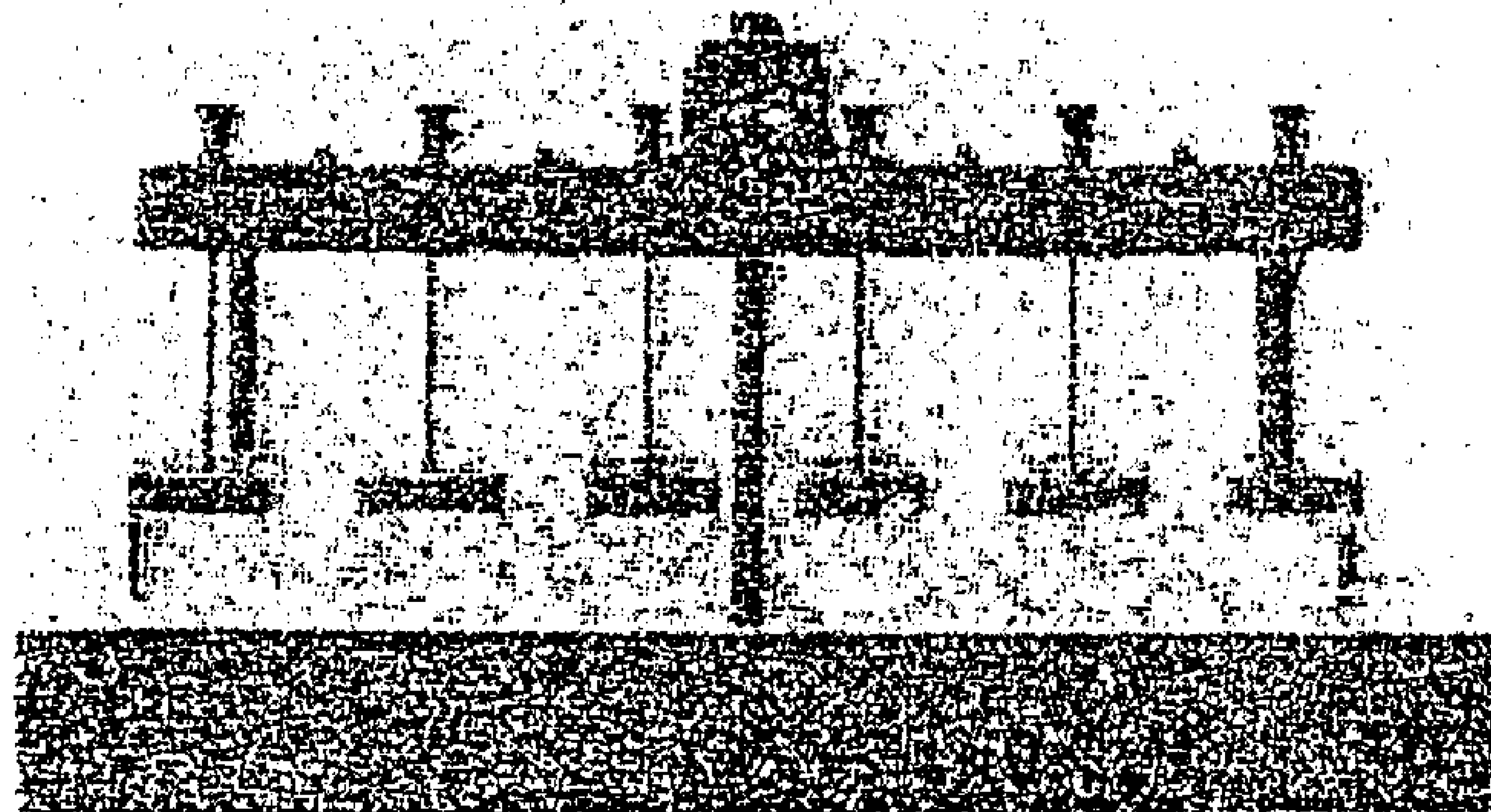
أحد الخواص للجسيمات الغروية التى تجعلها عالقة باستمرار هى الشحنة الكهروستاتيكية التى تحملها. بسبب وجود شحنات متماثلة فإن الجسيمات الغروية كلا منها يدفع الآخر بعيداً مع تجنب التصادم. ولكن كيماويات الترويب، تعادل تأثير شحنات الجسيمات الغروية. مع حدوث التعادل، فإن الجسيمات الغروية يمكن أن تتصادم وتتراكم (Agglomerate) أى تلتصق مع بعضها البعض مكونة جسيمات أكبر حجما وأكثر وزنا وهذه تسمى زغبات (Floc's). كذلك يتفاعل المروب مع القلوية الطبيعية فى الماء، مكونا راسب صلب لزج والذى يخرج من المحلول ويساعد فى تكوين الزغبات وذلك باقتناص الجسيمات.

بعد الخلط الأولى السريع للمروب مع الماء، فإن التقليب البطئ الذى يليه يساعد على نمو وكبر الزغبات وذلك بزيادة عدد تصادمات الزغبات. معظم الزغبات المتكونة أثناء الترويب تكون قابلة للترسيب ويمكن إزالتها من الماء فى حوض الترسيب. كما هو موضح فى الشكل (٦/٢) فإن الترويب عموماً يسبق عملية الترسيب فى محطة معالجة المياه التقليدية.

يمكن استخدام أنواع عديدة من الكيماويات للترويب. المروب الأكثر شيوعاً هو كبريتات الألومنيوم $AL_2\ (SO_4)_3$ وهو يسمى الشبه. أحياناً بعض الكيماويات العضوية المخلقة التى تسمى البلمرات أو البولى اليكتروليتس (Polyelectrolytes) يتم إضافتها مع الشبه لتعمل كعامل مساعد للترويب (Coagulant Aid). هذه المركبات طويلة التسلسل وذات الوزن الجزيئى العالى تساعد فى تكوين جسيمات من الزغبات أكبر وأثقل.

يتوقف نجاح عملية الترويب على عدة عوامل، بما فيها الجرعة الكيماوية ودرجة حرارة الماء، الرقم الهيدروجينى، القلوية – نظراً لأن نوعية إمدادات المياه السطحية عادة تتغير مع الوقت، فإنه عادة من الضرورى غالبا ضبط الجرعة. أفضل جرعة للمروب يتم تعيينها عادة فى المعمل بطريقة تسمى اختبار القنينة (Jar - Test). فى اختبار القنينة يتم ملء ست قنينات بعينة من الماء الخام، يتم خلط كل عينة مع كمية مختلفة من المروب. يتم استخدام جهاز التقليب الموضح فى الشكل (٣/٨). لتوفير الخلط البطئ، وهذا يقوى عملية الترويب.

بعد توقف أذرع التقليب، فإنه يسمح للزغبات أن ترسب فى القنينة. الجرعة فى القنينة التى تطلبت أقل كمية من المروب لإنتاج الماء الرائق مع تكون جيد للزغبات سريعة الترسيب تستخدم لحساب الجرعة لكل محطة معالجة المياه. يمكن عمل اختبارات إضافية بنفس الجهاز لتعيين تأثيرات الرقم الهيدروجينى، أو القلوية على تكون الزغبات لزيادة كفاءة العملية.

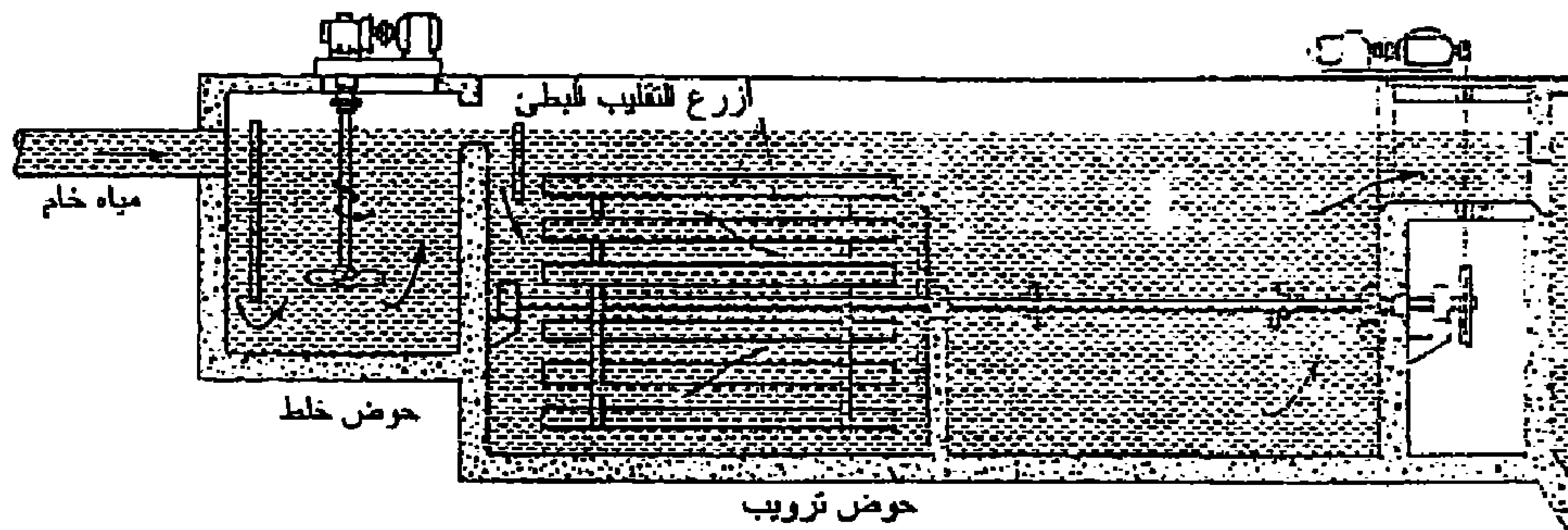


شكل (٣/٨) جهاز التقليب لاختبار القنينة المستخدمة فى تعيين أقصى جرعة مروب مناسبة

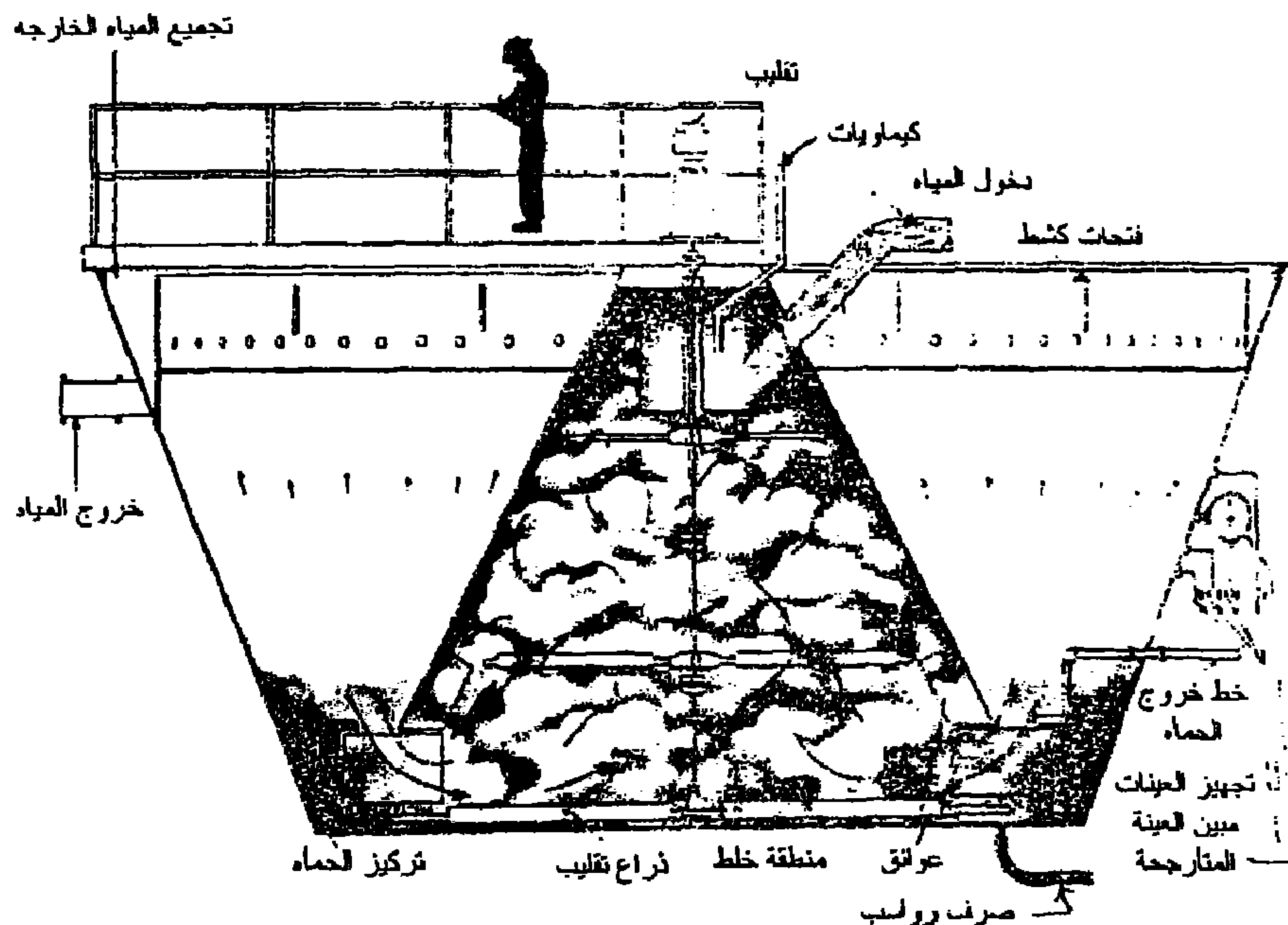
الخطوة الأولى فى عملية الترويب هى الخلط السريع للمروب مــع المـــاء. وهــذه تتضمن التقليب السريع لسرعة انتشار الكيماويات خلال الماء ولتأكيد حـدوث التفاعــل الكيماوى التام. أحياناً يتم ذلك بإضافة الكيماويات فى خط السحب الذى يـسبق مباشــرة طلمبة الطرد المركزى للرفع الواطى التى تضخ المياه إلى محطة المعالجة. دافع الطلمبة يوفر الخلط السريع داخل غلاف الطلمبة. فى معظم محطات المعالجة، يتم إنـشاء دافــع سريع الدوران فى حوض صغير الذى يوفر زمن مكث دقيقة واحدة. هذه الأحواض للخلط السريع عادة تبنى قريباً من أحواض الترغيب مباشرة وذلك لتوفير تكاليف الإنشاء كما هو موضح فى الشكل (٣/٩).

حجم حوض الترغيب يكون مصمماً لتوفير زمن مكث حتى ساعة واحـدة للتقليــب البطئ. المستخدم عادة من المزغبات هى ذات الأذرع (Paddle)، ذلك باستخدام ألواح من الخشب الأحمر مثبتة أفقياً على عامود يدار بمحرك. الدوران البطئ بمعدل حــوالى لفــة واحدة فى الدقيقة، يمكن الأذرع من التقليب البطئ الذى يوفر نمو الزغبات.

بعض محطات المعالجة الصغيرة نسبياً تجمع إضافة الكيماويات، الترغيب، الترسيب فى حوض واحد، الذى يسمى المروق بالتدفق العلوى أو حوض الأجسام الصلبة الملتصقة (Solid Contact Tank or up flow clarifier). كما هو موضح فى الشكل (٣/١٠). إضافة الكيماويات والخلط السريع يحدث عند دخول الماء إلى الحوض، فى المنتــصف. تتــدفق المياه أولا إلى أسفل الشكل المخروطى حيث يحدث الترغيب. ثم تتدفق إلى أعلى خـــلال الجزء من الحوض الذى يعمل على الترسيب بالجاذبية. تتكون طبقة من الزغبات عند قاع الحوض. وحدات المعالجة مثل هذه مفيدة خصيصاً فى المحطات حيث الماء يجب كــذلك إزالة عسرة بإضافة الجير المطفى وحيث المساحات من الأرض الفضاء تكون محدودة.



شكل(٣/٩) مقطع فى حوض الخلط السريع وحوض الترويب المستخدمين فى علمية الترويب



شكل (٣/١٠) مروق التصاق المواد الصلبة العالقة

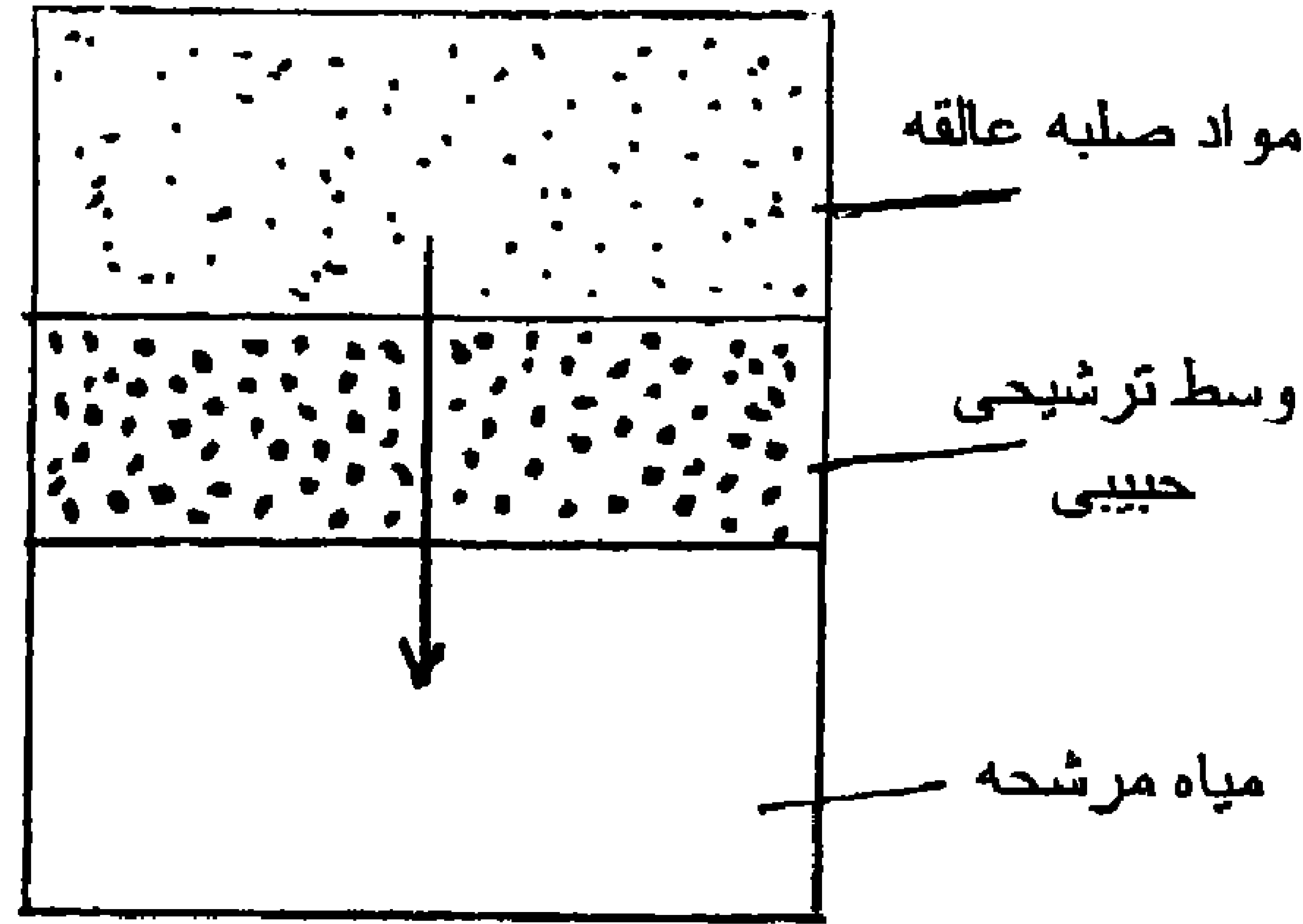
الترويب الصابورة لزيادة الثقل : (Ballasted Coagulation)

التطوير الحديث فى تكنولوجيا الترويب هى بإضافة حبيبات الرمل الرفيع لخليط الشبه والبولمير. حبيبات الرمل تلتصق مع المواد المروبة وتضيف ثقل بما يسرع فى عملية الترسيب. يستخدم جهاز يسمى الهيدروسيلكون لفصل الرمال من الحمأة، بما يمكن من استعادة استخدام الرمال بعد غسيلها. ترويب الصابورة لزيادة الثقل يوفر معالجة نفس كمية المياه فى حوض أصغر عن المطلوب بخلاف ذلك.

٤- الترشيح : (Filteration)

حتى مع استخدام المروبات الكيماوية، فإن الترسيب بالجاذبية لا يكفى لإزالة كل الملوثات العالقة فى الماء. حوالى ٥% من المواد الصلبة العالقة قد يظل فى شكل زغبات غير قابلة للترسيب. هذه الزغبات المتبقية يمكن أن تسبب عكارة واضحة كما أنه يمكنها احتضان الكائنات الحية الدقيقة وحمايتها من عملية التطهير التالية. للحصول على مياه صالحة للشرب نقية بللورية التى تتطابق مع المواصفات القياسية وهى أن العكارة لا تزيد عن ٠,٥ نيفيلومترى، فإنه يلزم معالجة إضافية تلى عملية الترويب والترسيب.

هذه المعالجة هى عملية طبيعية تسمى الترشيح. الترشيح يشمل إزالـــة الجـسيمات العالقة من الماء بتمريرها خلال طبقة من مادة حبيبية مسامية مثل الرمال. مع تدفق المياه خلال طبقة الترشيح، يتم احتجاز الأجسام العالقة خلال مسام الوسط الترشـيحى. وهـذا موضح فى الشكل (٣/١١). الترشيح عملية معالجة شديدة الأهمية لتنقية المياه السطحية. ولذلك فإن محطات المعالجة هذه تسمى المعالجة بالمرشحات رغم أن الترشيح هو خطوة واحدة فقط فى كل عملية المعالجة.



شكل (٣/١١) مخطط لعملية الترشيح

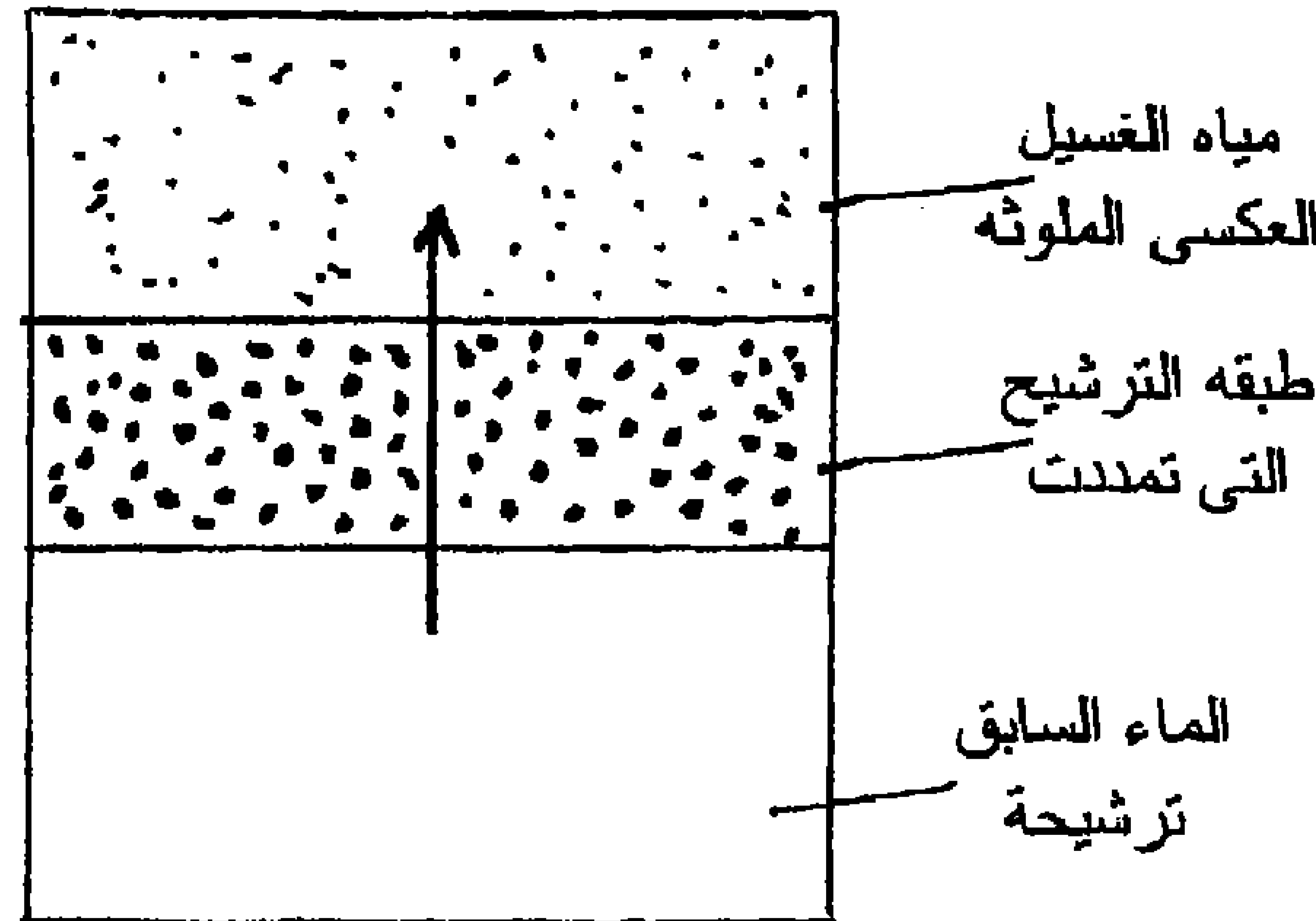
المرشحات السريعة : (Rapid Filters)

المرشحات الأولى التى أنشئت لتنقية المياه استخدمت الرمل الرفيع كوسط ترشيحى. بسبب المسام الصغيرة فى الرمال الرفيعة، فإن المياه كانت تأخذ وقتاً طويلاً لتتدفق خلال الوسط الترشيحى، وعند حدوث انسداد للسطح بالجسيمات العالقة، يكون من الـضرورى كشط سطح الرمال يدوياً لتنظيف المرشح. هذه الوحدات سـميت المرشـحات الرمليـة البطيئة، كانت تحتاج إلى مساحة كبيرة من الأرض بـسبب المعـدل البطـئ للتـدفق. المرشحات الرملية البطيئة مازالت تستخدم نظراً لكونها مؤثرة وغير مكلفة نسبياً بالنسبة للتشغيل.

فى محطات معالجة المياه الحديثة، تم استبدال الترشيح الرملـى البطـئ بالترشـيح الرملى السريع، حيث تتدفق المياه خلال الوسط الترشيحى أسرع مقارنة بالتـدفق خـلال طبقة الترشيح الرملى البطئ (أسرع بحوالى ٣٠ ضعف). وهذا جعل مـن الـضرورى تنظيف المرشح مرات أكثر. ولكن بدلاً من النظافة اليدوية بكشط الطبقة السطحية للوسط

الترشيحى، فإن المرشحات السريعة يتم تنظيفها بتغيير اتجاه التدفق خلال طبقة الوسط الترشيحى. وهذا موضح فى الشكل (٣/١٢).

أثناء الترشيح، تتدفق المياه إلى اسفل خلال الوسط الترشيحى بفعل الجاذبية. عند غسيل المرشح، يتم دفع المياه النظيفة إلى أعلى، حيث يتمدد الوسط الترشيحى قليلاً حاملاً بعيداً الملوثات المتراكمة. هذه العملية تسمى الغسيل العكسى (Back Washing). النظافة بعملية الغسيل العكسى هو من خواص المرشح السريع.



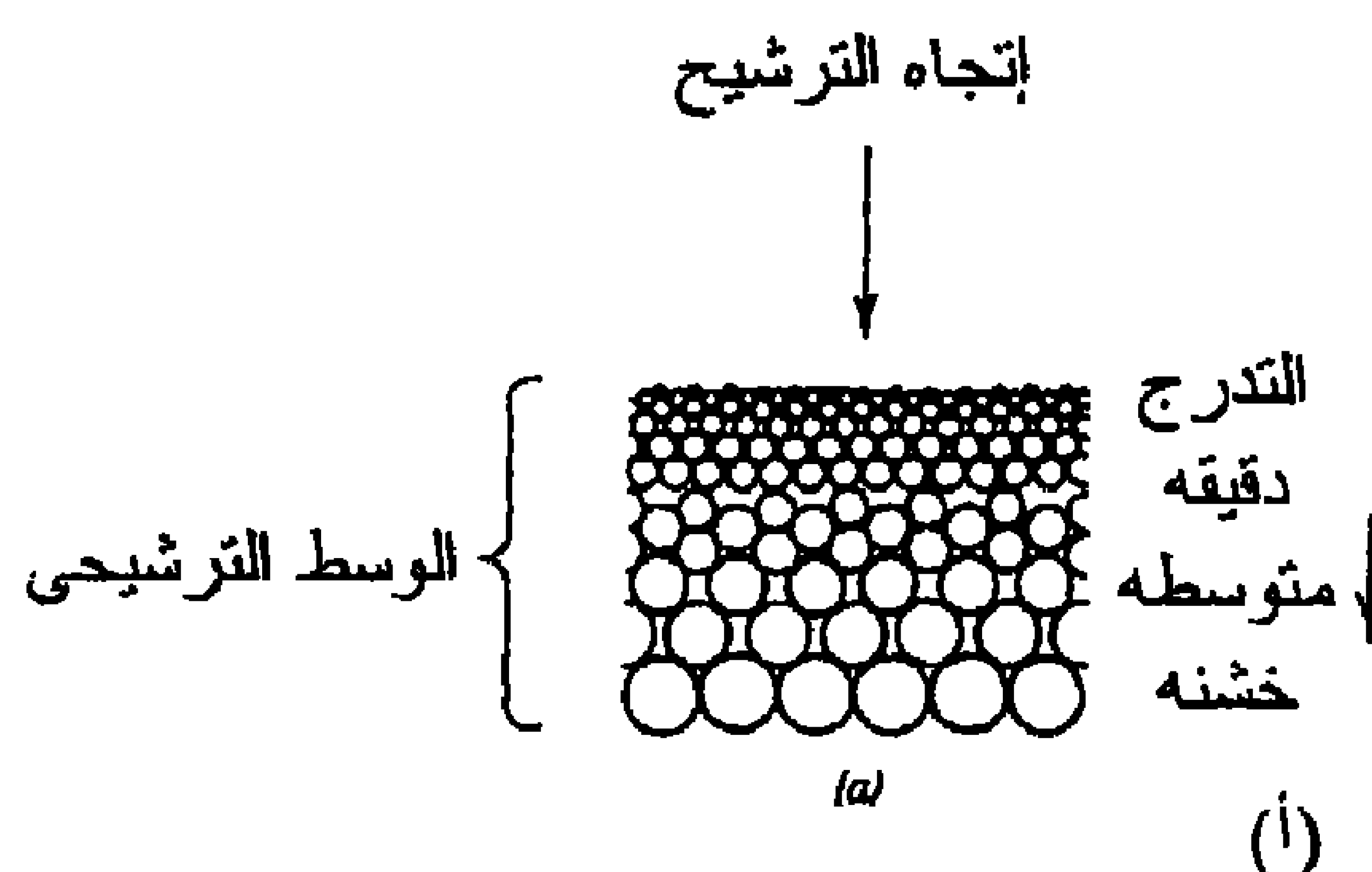
شكل (٣/١٢) مخطط لدورة الغسيل العكسى للمرشح السريع

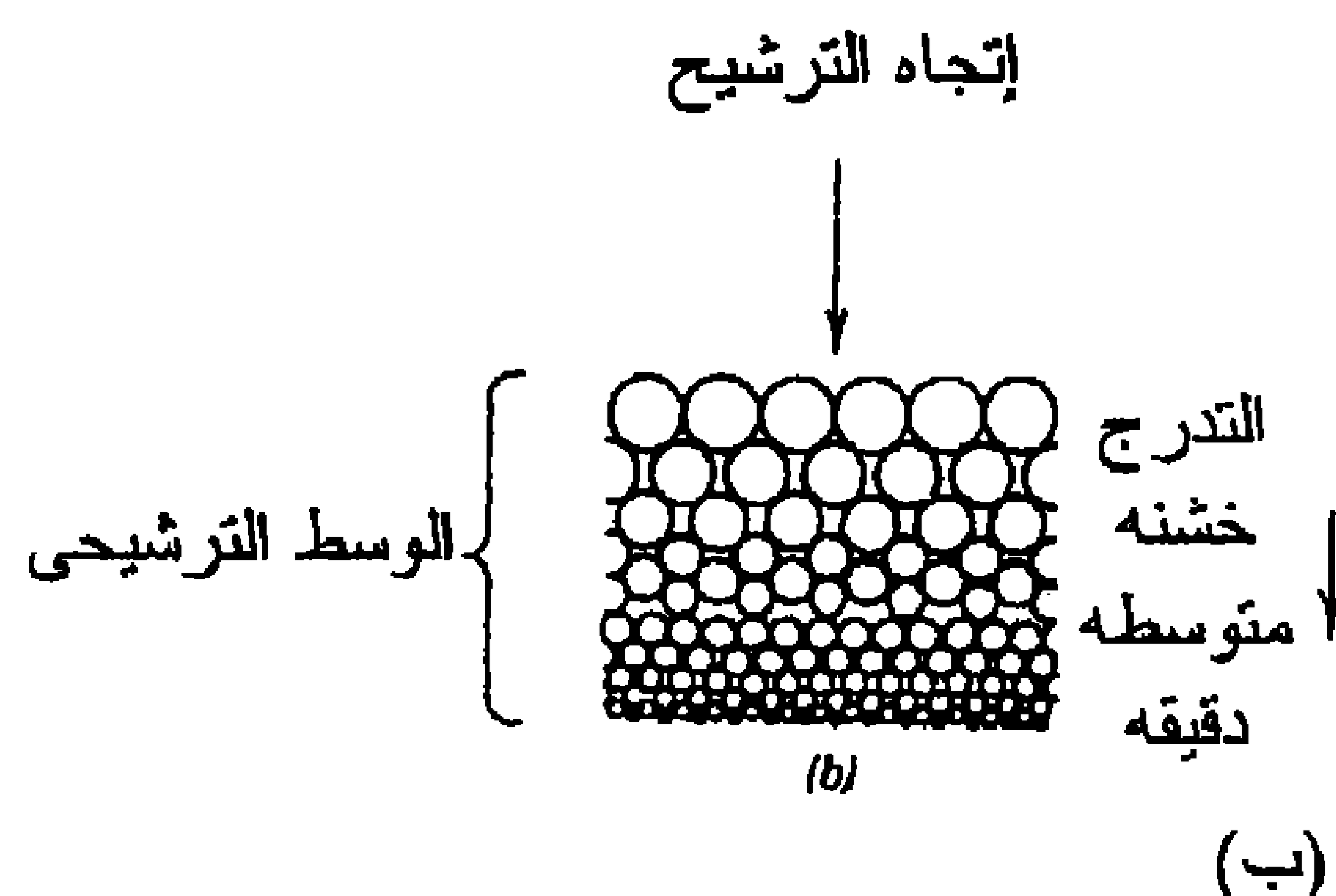
كثيراً من المرشحات السريعة تستخدم الرمل كوسط ترشيحى وهذه تسمى المرشحات الرملية السريعة. ولكن حبيبات الرمل (والمسام بين الحبيبات) أكبر من تلك المرشحات الرملية البطيئة. فى المرشح الرملى السريع، القطر المؤثر (Effective Size) للرمل هو حوالى ٠,٥ مليمتر ومعامل التجانس (Uniformity Coefficient) هو ١,٥ (راجع الفصل الأول بند ٤من الجزء الأول).

الصعوبة التى تظهر عند استخدام الرمل فقط فى المرشح السريع هى أنه بعد الغسيل العكسى، حبيبات الرمال الأكبر ترسب عند القاع أولاً، تاركة حبيبات الرمل الأصغر على سطح المرشح. هذا الشكل لتدرج الوسط الترشيحى موضح فى الشكل (٣/١٣-أ).

بسبب هذا التدرج من الأصغر إلى الأكبر لحبيبات الرمل فى اتجاه التدفق، فإن معظم أداء الترشيح يحدث فى الطبقة العليا للوسط الترشيحى. وهذا ينتج عنه كفاءة ضعيفة لاستخدام المرشح. دورة الترشيح (الفترة الزمنية بين عمليات الغسيل العكسى) تقل، ويلزم الغسيل العكسى من آن إلى آخر. كذلك فى حالة اختراق بعض من المواد الصلبة العالقة الطبقة العليا للرمل، فإنه من المحتمل أن تمر خلال كل طبقة الوسط الترشيحى.

التوزيع الحجمى المفضل لمادة الترشيح موضح فـى الـشكل (٣/١٣-ب) التـدرج للحبيبات من الأصغر إلى الأكبر يسمح بوصول الجسيمات العالقة إلى أعماق أكبر خلال الوسط الترشيحى وهذا الترشيح فى العمق يوفر مساحة تخزين أكبر للمواد الصلبة، كمـا يوفر مقاومة أقل للتدفق، ويزيد من الفاصل الزمنى بين عمليات الغسيل العكسى. عمليـة الترشيح تصبح أكثر من كونها مجرد حجز على السطح. عمليات الترغيـب والترسـيب تحدث كذلك خلال المسام، ويحدث أدمصاص لبعض على أسطح الوسط الترشيحى.





شكل (٣/١٣-أ) نموذج لطبقة الترشيح السريع. تحدث إزالة للمواد الصلبة أساساً بفعل الحجز لطبقة المرشح العليا. (ب) نموذج التدرج من الخشن إلى الدقيق فى مرشح الطبقة المختلطة فهى مفضلة عن الطبقة الرملية لأنها توفر ترشيح فى العمق.

للحصول على أفضل تدرج للترشيح فى العمق، يكون من الضرورى استخدام أثنتين أو ثلاث من مواد الترشيح المختلفة. فمثلاً، فى حالة وضع طبقة خشنة من فحم الأنثراثيت فوق الرمل فإن حبيبات الفحم سوف تظل دائماً فى القمة بعد حدوث الغسيل العسكى. ذلك لأن الفحم له كثافة منخفضة كثيراً عن الرمل. حتى فى حالة كبر حبيبـات الفحـم عـن حبيبات الرمل، فإنها أخف ولذلك فإنها ترسب ببطء. حبيبات الرمل الأثقل ترسب نحو قاع

طبقة الترشيح أولا عند نهاية دورة الغسيل العكسى. المرشح السريع الذى يستخدم كلا من الفحم والرمل يسمى المرشح ذو الوسط الترشيحى المزدوج. طبقة الفحم العليا تعمل كمرشح خشن، حيث تزيل معظم الملوثات كبيرة الحجم أولا. وهذا يسمح لطبقة الرمل فى إزالة الجسيمات الصغيرة بدون أن يحدث لها انسداد سريع.

التدرج من الخشن إلى الدقيق الموضح فى الشكل (٣/١٣-ب) يمكن الحصول عليه باستخدام ثلاث مواد ترشيح: الفحم، الرمل، الجارنيت (الجارنيت هو مادة عالية الكثافة وهى تسمى كذلك العقيق الأحمر). بعد الغسيل العكسى تكون الطبقة العليا للوسط الترشيحى معظمها من الفحم، الطبقة الوسطى يكون معظمها من الرمل، والطبقة السفلى تكون غالباً من حبيبات العقيق الأحمر الدقيق. وهذا يسمى الوسط الترشيحى المختلط. مادة الترشيح تتراوح فى الحجم من حوالى ٢ مليمتر عند القمة إلى حوالى ٠,٢ مليمتر عند القاع. فى السنين الأخيرة، تم استخدام المرشحات المزدوجة والمختلطة لاستبدال المرشحات الرملية السريعة المقامة حالياً فى كثير من محطات المعالجة.

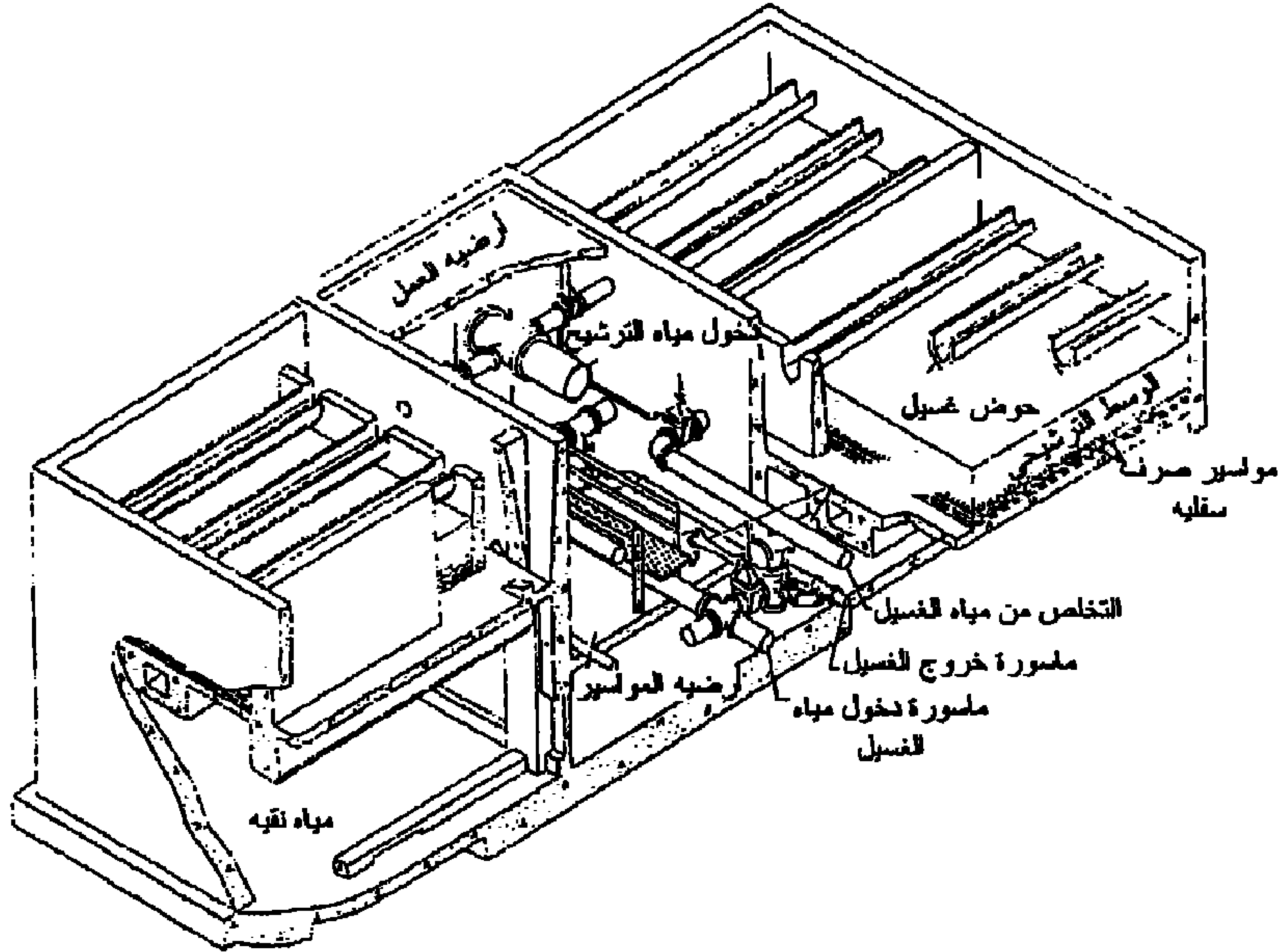
تصميم المرشح : (Filter Design)

المرشحات السريعة سواء كانت من الرمل، أو الوسط المزدوج أو المختلط عادة يتم بناءها فى شكل منشأ خرسانى صندوقى كما هو موضح فى الشكل (٣/١٤). صناديق الترشيح المتعددة هى وحدات موضوعة على جانبى ماسورة مياه رئيسية، مع استخدام خزان لتخزين المياه المرشحة والذى يكون عادة أسفل المرشحات. نظراً لأنه يتم الغسيل العكسى لوحدة واحدة فى وقت واحد، فإن عملية الترشيح يمكن أن تحدث باستمرار مع تدفق المياه خلال محطة المعالجة.

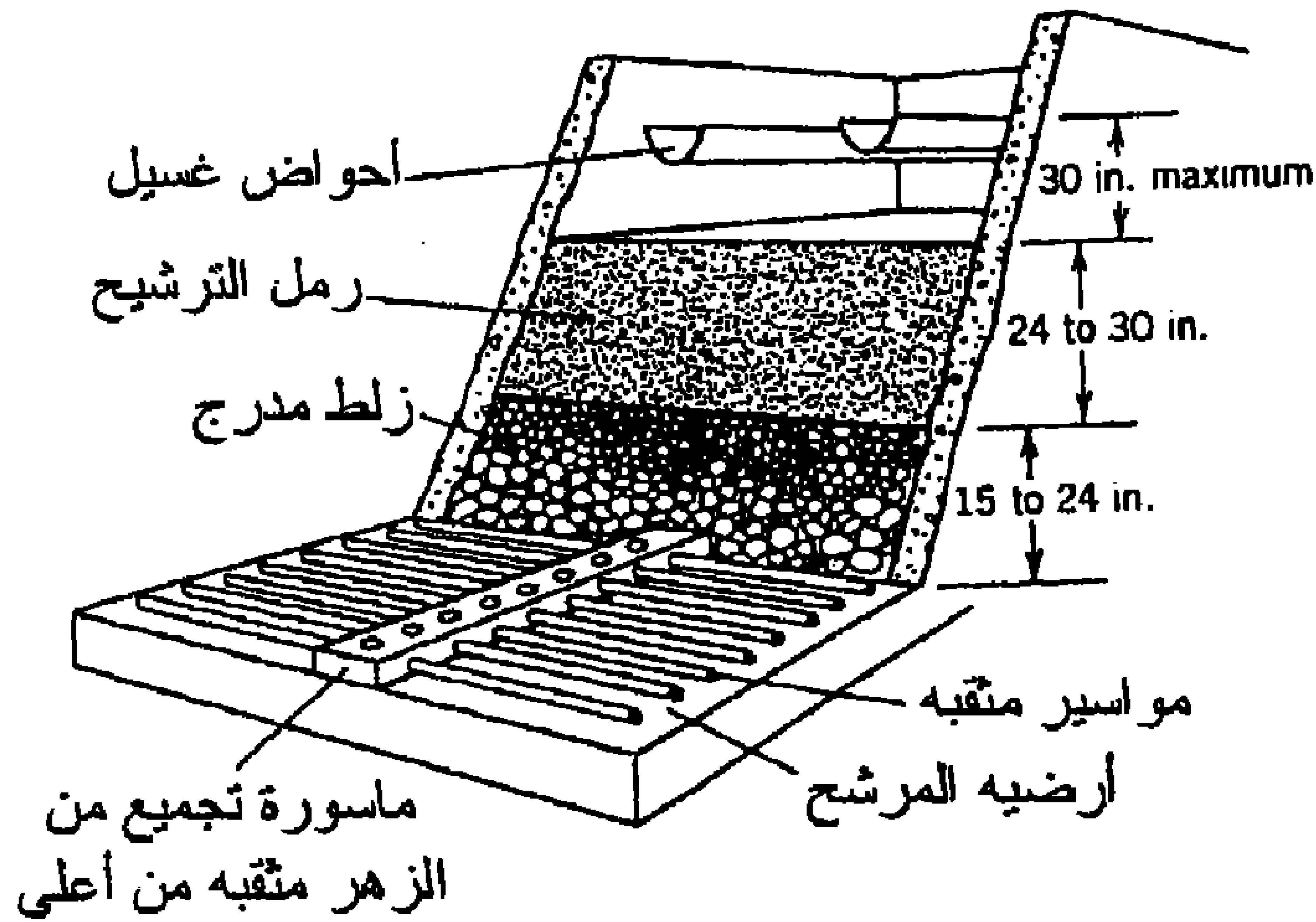
نموذج للمرشح السريع الصندوقى هو حوالى بعمق ٣ متر (١٠ قدم)، ولكن الوسط الترشيحى نفسه هو فقط ٠,٧٥ متر (بعمق حوالى ٢,٥ قدم). يوضع فوق سطح طبقة الترشيح أحواض مياه الغسيل، والتى تحمل مياه الغسيل المتسخة مع تدفقها إلى أعلى خلال الوسط الترشيحى. الوسط الترشيحى يتم حمله على طبقة من الزلط الخشن. أسفل الزلط، الذى يعمل فقط على حمل الوسط الترشيحى ولا يشارك فى عملية الترشيح، يوجد قاع خاص للمرشح أو نظام للصرف السفلى.

نظام الصرف السفلى يقوم بجمع المياه المرشحة ويقوم بالتوزيع المتساوى لمياه الغسيل خلال قاع المرشح أثناء دورة الغسيل العكسى. وقد يتكون نظام الصرف السفلى من مواسير مثقبة تؤدى إلى ماسورة تجميع التى تحمل المياه إلى حوض تجميع المياه

المرشحة. فى كثير من المرشحات، يتكون نظام الصرف السفلى من كتل خاصة مثقبة أو من ألواح الصلب ذات فتحات ضيقة للمساعدة فى توزيع مياه الغسيل. مقطع فى وحدة ترشيح موضح فى الشكل (٣/١٥).



شكل (٣/١٤) المرشح الرملى السريع. المياه المرشحة يتم تخزينها مرقتا فى حوض المياه النقية. العديد من صناديق الترشيح توفر مرونة فى التشغيل يتم الغسيل العكسى لمرشح واحد فى المرة الواحدة.



شكل (٣/١٥) مقطع فى نموذج لصندوق المرشح الرملى السريع

كفاءة الترشيح وطول دورة الترشيح تعتمد على معدل الترشيح. معدلات الترشيح البطيئة عادة توفر دورات ترشيح طويلة وتنتج نوعية مياه عالية، ولكن هذه تتطلب مرشحات كبيرة. معدل الترشيح عادة يعبر عنه بأنه معدل تدفق المياه مقسوما على المساحة السطحية للمرشح. وهى تكون إما بالجالون فى الدقيقة على القدم المربع أو باللتر فى الثانية على المتر المربع. عادة يتم تصميم المرشحات الرملية السريعة لتعمل بمعدل متوسط حوالى ١,٤ لتر فى الثانية على المتر المربع أو ٢ جالون فى الدقيقة على القدم المربع، وذلك عند استخدام مرشحات الوسط الترشيحى المختلط حيث تعمل بكفاءة عند معدل متوسط حوالى ٣,٥ لتر فى الثانية على المتر المربع أو ٥ جالون فى الدقيقة على القدم المربع. معدل الترشيح يتناسب مع سرعة التدفق خلال طبقة الوسط الترشيحى.

مثال :

وحدة ترشيح ذات مساحة سطحية ٥٠ قدم مربع. معدل التدفق خلال المرشح هو ٠,٢٥ مليون جالون فى اليوم. احسب معدل الترشيح والسرعة التى عندها تتدفق المياه خلال الوسط الترشيحى.

الحل :

أولا، حول معدل التدفق إلى جالون فى الدقيقة كالآتى :

٢٥٠,٠٠٠ جالون/ اليوم × ١يوم÷٢٤ ساعة × ١ ساعة ÷ ٦٠ دقيقة

= ١٧٤ جالون فى الدقيقة

ثم: معدل الترشيح = ١٧٤ جالون فى الدقيقة ÷ ٥٠ قدم مربع =

= ٣,٥ جالون فى الدقيقة/ القدم المربع

السرعة = ٣,٥ جالون/ الدقيقة/ قدم مربع × ١ قدم مكعب÷ ٧,٥ جالون

= ٠,٤٧ قدم فى الدقيقة

مثال :

مرشح صندوقى مربع يلزم تصميمه لمعدل ترشيح ٢,٨ لتر فى الثانية على المتر المربع. ما هى المساحة السطحية المطلوبة وأبعاد أجناب الوحدة إذا كان معدل التدفق ٦ مليون لتر فى اليوم؟

الحل :

معدل التدفق باللتر فى الثانية هو

٦ × ١٠[٦] لتر فى اليوم ÷ ٢٤ ساعة فى اليوم ÷ ٣٦٠٠ ثانية فى الساعة

= ٦٩,٤ لتر فى الثانية

حيث أن معدل الترشيح = معدل التدفق ÷ المساحة

المساحة = معدل التدفق ÷ معدل الترشيح

= ٦٩,٤ لتر / الثانية ÷ ٢,٨ لتر/ المتر المربع فى الثانية

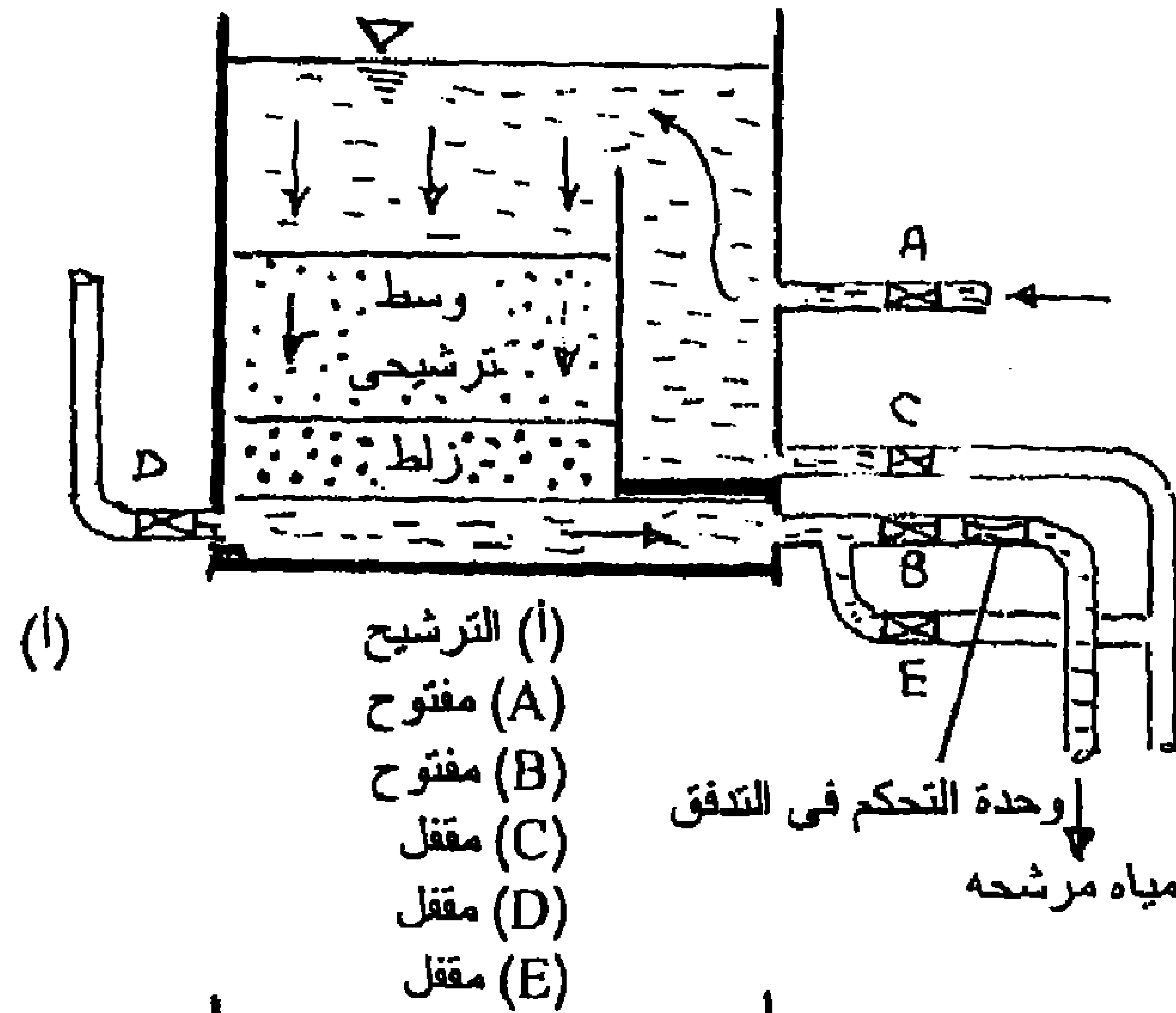
= ٢٥ متر مربع

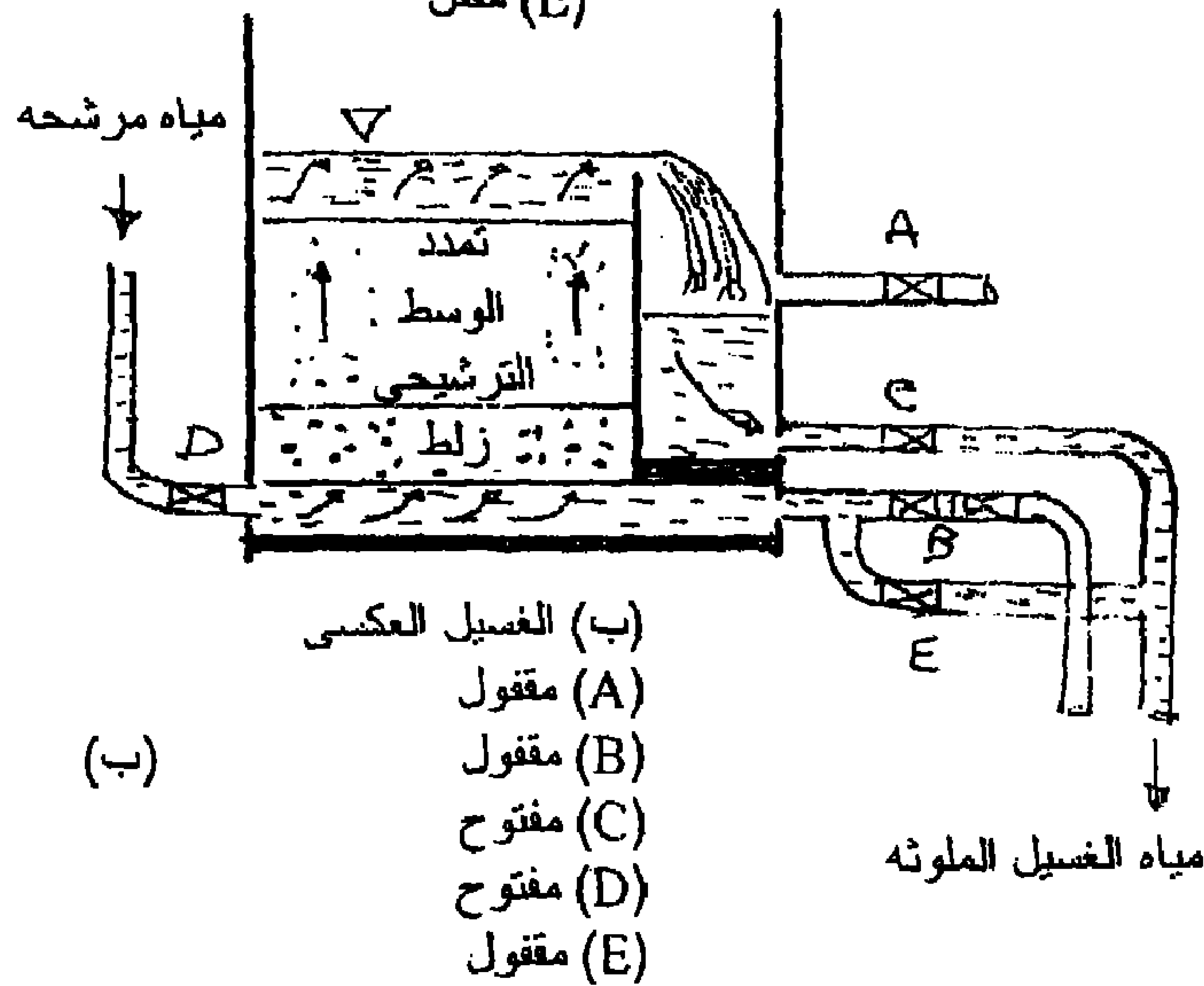
و أبعاد الأجناب = $\sqrt{25}$ متر مربع = ٥ متر

عمل المرشح : (Filter Operation)

الترشيح السريع عادة يسبقه الترويب والترسيب. فى بعض الحالات، طبقاً لنوع المياه الخام يمكن استخدام الترشيح مباشرة. فى الترشيح المباشر يحدث خلط المروب والتزغيب ولكن لا تتم خطوة الترسيب. فبدلاً منها تتدفق المياه من حوض الترويب مباشرة نحو المرشح. هذا يحقق وفر فى مساحة محطة المعالجة وكذلك فى تكاليف الإنشاء (بعض محطات الترشيح تستخدم كذلك الأوزون وعملية تسمى الطفو للمساعدة فى عملية الترويق).

مقطع لوحدة المرشح السريع موضح فى الشكل (٣/١٦) عند بدء الترشيح خلال الطبقة النظيفة، عادة يكون محبس الدخول (A) تام الفتح ومحبس الخروج (B) مفتوح جزئياً. المحبس (B) يتم فتحه بالتدريج بعد ذلك باستخدام جهاز تحكم آلى لمعدل الترشيح. الذى يعمل باستشعار فرق الضغط نتيجة التغيرات فى معدل التدفق. تجهيزة التحكم هى عادة مقياس الفنشورى (Venture Meter).





شكل (٣/١٦) المرشح السريع فى (أ) دورة الترشيح، (ب) دورة الغسيل العكسى

مع تراكم المواد الصلبة فى المرشح، تزداد مقاومة التدفق خلال طبقة الوسط الترشيحى وبذلك يقل معدل الترشيح. انخفاض التدفق يتم استشعاره بجهاز التحكم في المعدل، والذى يسبب فتح المحبس (B). الفتح التدريجى للمحبس (B) يعوض عن المقاومة المستمرة فى الزيادة فى طبقة الترشيح. بهذه الطريقة، فإن معدل التدفق خلال المرشح لا يتغير. هذا النوع من التشغيل يسمي الترشيح بالمعدل الثابت (Constant Rate Filtration). أثناء الترشيح بالمعدل الثابت يظل منسوب المياه فى صندوق المرشح حوالى ١ متر فوق أعلى طبقة الوسط الترشيحى.

أحيانا، يحدث انسداد لطبقة الترشيح إلى الحد حيث يجب أن يكون المحبس (B) مفتوحا باتساع للمحافظة على معدل الترشيح المطلوب. عند هذه النقطة يكون من الضرورى نظافة المرشح أو الغسيل العكسى. ولعمل ذلك، يتم قفل المحابس (A)، (B) ويتم فتح المحابس (B)، (C). المياه من حوض مياه الغسيل العكسى عندئذ تتدفق إلى أعلى خلال طبقة الترشيح، وتعمل على تمددها قليلاً حاملة إلى أعلى المواد الصلبة المتراكمة. مياه الغسيل العكسى الحاملة للملوثات تتدفق فى أحواض الغسيل العكسى ثم، إما يتم إعادة تدويرها أو صرفها فى شبكة الصرف الصحى.

مياه الغسيل العكسى تحتوى على مستوى عالى من الكائنات الميكروبية الضارة مثل (Cryptosporidium). التدوير الغير جيد لمياه الغسيل العكسى كان السبب فى عديد من الأمراض. ولذلك فإنه حالياً يتم عدم الاستخدام المباشر لمياه الغسيل العكسى وتدويرها مباشرة حيث يتم دفعها حاملة الملوثات إلى وحدة المعالجة لتنفيذ جميع عمليات المعالجة عليها.

المرشحات السريعة يتم غسيلها العكسى بمعدل حوالى ١٠ التر/المتر المربع فى الثانية (١٥ جالون فى اليوم/ القدم المربع) لمدة حوالى ١٠ دقائق. بعد توقف تدفقات الغسيل العكسى، فإن مادة الوسط الترشيحى تستقر ثانياً فى الطبقة وتبدأ دورة الترشيح ثانياً. بالنسبة للخمس دقائق الأولى للترشيح، يتم صرف المياه المرشحة خلال المحبس (E) لتأكيد عدم حمل أى مواد صلبة متبقية مع المياه المرشحة النقية.

مثال :

إذا كان المرشح المصمم فى المثال السابق يتم غسيله العكسى مرة فى اليوم لمدة ١٢ دقيقة بمعدل ١٠ التر/ المتر المربع فى الثانية، ما هى نسبة المعدل الكلى للتدفق لاستخدامها فى تنظيف المرشح؟

الحل :

حجم المياه المستخدمة للغسيل العكسى كل يوم يمكن حسابه بضرب معدل الغسيل العكسى فى مساحة الترشيح وزمن الغسيل العكسى، كالآتى :

١٠ التر/المتر المربع فى الثانية × ٢٥ متر مربع × ١٢ دقيقة × ٦٠ ثانية= ١٨٠متر مكعب.

إجمالى التدفق اليومي يعطى ٦ مليون لتر = ٦٠٠٠ متر مكعب.

نسبة الماء المستخدم فى الغسيل العكسى لذلك ستكون

(١٨٠ × ٦٠٠٠) × ١٠٠ = ٣%

هذه النسبة من المياه المستخدمة فى الغسيل العكسى هى تقريبا النموذجى لمعظم محطات معالجة المياه.

فى السنين الأخيرة، ظهر نوع من الترشيح يسمى الترشيح بالمعدل المتناقص (Declining Rate Filteration) حيث استخدم فى بعض محطات معالجة المياه. فى هذا الشكل من التشغيل، لا يتم استخدام أجهزة التحكم فى معدل التدفق. يسمح بمعدل الترشيح للانخفاض بالتدريج من أقصى قيمة عند بدء دورة الترشيح إلى أدنى قيمة عند انسداد الطبقة. مع انسداد طبقة الوسط الترشيحي بالمواد الصلبة المتراكمة، فإن منسوب المياه يرتفع بالتدريج فى صندوق المرشح. عند وصول منسوب المياه إلى ارتفاع سبق تحديده، يتم الغسيل العكسى للمرشح آليا.

كلا من الترشيح بالمعدل المتناقص أو الترشيح بالمعدل الثابت ينتج مياه ذات نوعية ممتازة. نوعية المياه عالية النقاء من المرشحات السريعة ذات التصميم والتشغيل الجيد تكون مستوى العكارة فيها عادة هو ٠,٢ وحدة نيفيلومترى (O.2 NTU).

أنواع أخرى من المرشحات :

المرشح السريع الذى يعمل بالجاذبية هو المرشح العادى المستخدم فى معالجة إمدادات المياه، ذلك لأنه يعتمد عليه إلى حد كبير. أنواع أخرى من المرشحات المستخدمة أحيانا لتنقية المياه تشمل مرشح الضغط، مرشح الوسط الدياتومى (Diatomaceous Earth Filter) مرشح الضغط يشبه إلى حد كبير المرشح السريع التقليدى فى أن المياه تتدفق خلال طبقة ترشيح حبيبية. ولكن بدلاً من أن يكون مفتوحاً إلى الجو ومستخدماً قوة الجاذبية، فإن مرشح الضغط يكون مغلقا فى شكل خزان صلب أسطوانى وتضخ المياه خلال الوسط الترشيحى تحت الضغط. نظراً لأنه يعمل تحت الضغط، فإنه يوجد احتمال تسرب المواد الصلبة خلال الوسط الترشيحى فى المياه المرشحة. حيث أنها لا يعتمد عليها كما فى حالة المرشحات السريعة فإنها نادراً ما تستخدم فى إمدادات مياه الشرب المنزلية، فهى تستخدم غالبا لترشيح المياه فى الاستخدامات الصناعية أو فى حمامات السباحة.

مرشحات الوسط الدياتومى تستخدم كذلك أساسا للاستخدام الصناعى وفى حمامات السباحة. مثل مرشحات الضغط، الاعتماد عليها أقل من المرشحات السريعة أو

المرشحات ذات الوسط الترشيحي المختلط. الوسط الترشيحي في هذا النوع من المرشحات هو طبقة رقيقة من الدياتوم وهو مادة طبيعية في شكل مسحوق تتكون من صدف الكائنات الحية الدقيقة المسماة دياتومز (Diatoms). يتم حمل مادة دياتوم التربة هذه على مصفاة معدنية أسطوانية أو من النسيج المسمى (Septum) . مرشح دياتوم التربة يتكون من العديد من هذه السبتا (septa) الصغيرة (أى الحاجز أو الفاصل الصغير).

٥- التطهير : Disin Fection

العمليات التي تم تناولها سابقاً كالترويب والترسيب والترشيح تكون معاً نوعاً من المعالجة يسمى الترويق (Clarification) . الترويق يزيل كثيراً من الكائنات الحية الصغيرة من الماء جنباً إلى جنب مع المواد الصلبة العالقة. ولكن الترويق نفسه ليس كافياً لتأكيد الإزالة التامة للبكتريا الممرضة والفيروسات. مياه الشرب يجب أن تكون أكثر نقاءً من البلور. يجب أن تكون خالية تماماً من الكائنات الحية الدقيقة المسببة للأمراض. لعمل ذلك، فإن عملية المعالجة النهائية في معالجة المياه هي التطهير، والذى يبيد أو يوقف نشاط الكائنات الدقيقة الممرضة.

الكلورة : (Chlorination)

الكلورة هو المادة الأكثر استخداماً للتطهير، إضافة الكلور ومركبات الكلور إلى الماء يسمى الكلورة. تعتبر الكلورة العملية الهامة جداً لمنع انتشار الأمراض التي يحملها الماء.

الكلور الجزيئى (CL_2)، عبارة عن غاز أصفر مخضر عند درجة حرارة الغرفة والضغط الجوى. فى الشكل الغازى يكون شديد السمية، حتى فى التركيزات المنخفضة فإنه شديد التهيج. ولكن عند إذابة الكلور فى تركيزات منخفضة فى الماء النقى يكون غير ضار، وفى حالة استخدامه بطريقة صحيحة فإن المذاق والرائحة الذى يسببها الكلور رغم أنهما غير مقبولين إلا أنه لا يتم ملاحظتهما للإنسان العادى. رغم أن الكلور مؤثر فى قتل الكائنات الممرضة ومنع انتشار الأمراض الوبائية، فإنه من المحتمل حدوث مشاكل صحية غير معدية بطريقة غير مباشرة بسبب عملية الكلورة. المياه الطبيعية عادة تحتوى كميات قليلة من المركبات العضوية، أساساً من المصادر الطبيعية مثل النباتات التي تحللت. هذه المواد يمكن أن تتفاعل مع الكلور لتكون مركبات تسمى الترای هالو ميثان (ThM'S)، وهذه يمكن أن تسبب مرض السرطان، الكلوروفورم هو مثال لمركبات الترای هالو ميثان.

لقد أوصت الوكالة الدولية لحماية البيئة بالمعايير التى تحد بأقصى تركيز للتراى هالو ميثان فى مياه الشرب. أحد هذه هو منع تكون التراى هالو ميثان من خلال التأكـد مـن إضافة الكلور فقط بعد الترويق وإزالة معظم المواد العضوية. كـذلك الطريقـة البديلـة للتطهير بالكلور من خلال عدم استخدام الكلور وهذه الطرق سيتم مناقشتها.

كيمياء الكلورة :

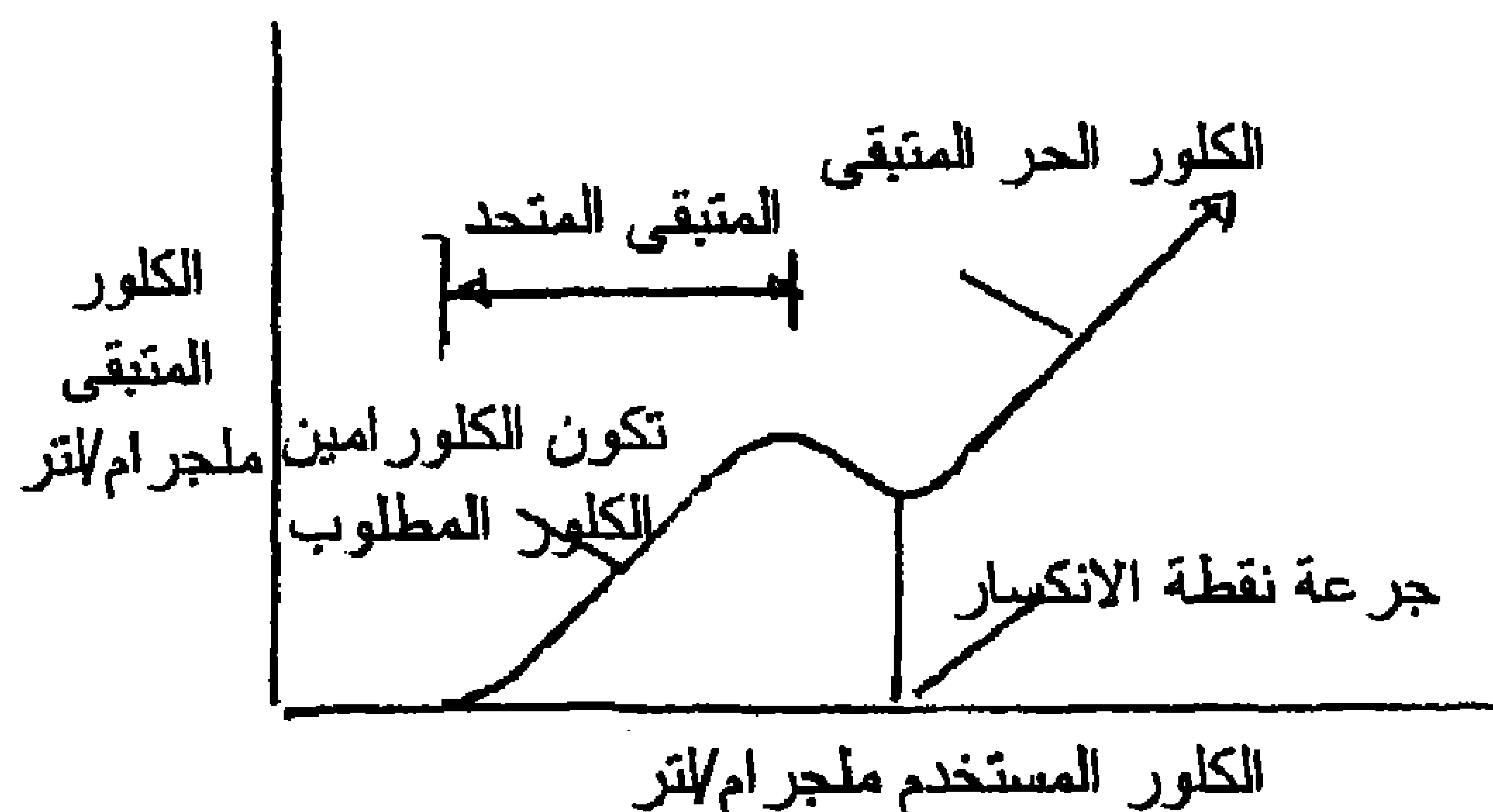
عند إذابة الكلور فى المـاء النقـى، فإنـه يتفاعـل مـع أيونـات (H^+) وأيونـات (OH^-) فى الماء. اثنين من نواتج هذا التفاعل هما حامض الهيبوكلورس (HOCL)، أيـون الهيبوكلوريت $(OCl)^-$. وهذه هى عوامل التطهير الحقيقية. فى حالة وجود الكائنات الحية الدقيقة فى الماء، فان كلا من (HOCl)، (OCl) يخترق خلايا الميكروبات ويتفاعـل مـع أنزيمات معينة. هذا التفاعل يحدث اضطراباً فى الأداء الأحيائى للميكروبات ويقتلها.

حامض الهيبوكلورس يعتبر مطهراً أكثر تأثيراً من أيون الهيبوكلوريت ذلـك لأنـه ينتشر أسرع خلال جدار الميكروب. التركيزات النسبية لكل من (HOCl), (OCl-) تتوقف على الرقم الهيدروجينى للماء. عموماً، كلما انخفض الرقم الهيدروجينى للماء كلما كانـت الكلور ذات تأثير أكبر وبالتالى عملية التطهير.

عند إضافة الكلور أولاً إلى المياه المحتوية على بعض الملوثات، فإن الكلور يتفاعل فوراً مع المواد المذابة العضوية أو الغير عضوية ويصبح عندئذ غير متاح للقيام بعمليـة التطهير. كمية الكلور المستخدم فى هذا التفاعل الأولى تسمى مطالب الماء مـن الكلـور (Chlorine Demant of Water). فى حالة وجود الأمونيا المذابة (NH_3) فى المـاء فـإن الكلور يتفاعل معها ليكون مركبات الكلورامين. فقط بعد مطالب الكلور وبعد تمام التفاعل مع كل الأمونيا المذابة يكون فقط الكلور المتاح فى شكل (HOCl) أو (OCl-).

الكلور فى شكل (HOCl), (OCl-) يسمى الكلور الحر المتاح، بينما الكلوامين يـسمى الكلور المتحد (Combined Chlorine). الكلور الحر هو عادة الشكل المفضل لتطهير مياه الشرب. فهو يعمل أسرع عن الكلور المتحد، كما أنه لا يسبب مذاقاً أو رائحـة منفـرة. الكلور المتحد مؤثر كذلك كمطهر، ولكن أداؤه أبطأ ويمكن أن يسبب الرائحـة التقليديـة لحمامات السباحة للمياه المكلورة. فائدته هو أنه يستمر لمدة أطول ويمكن أن يحافظ على الحماية الصحية خلال شبكة التوزيع.

أحيانا تستخدم وتسمى عملية كلورة نقطة الانكسار (Break Point Chlorination) لتأكيد وجود الكلور الحر في إمدادات مياه الشرب. لعمل ذلك، يكون من الضروري إضافة كلور كافي في الماء بما يكفي لمطالب الكلور وللتفاعل مع كل الأمونيا المذابة في الماء. عند حدوث ذلك، فإنه يقال أنه تم الوصول إلى نقطة انكسار الكلور. الكلور المضاف أعلى من نقطة الانكسار يكون متاحا في شكل الكلور الحر المتبقي بنسبة مباشرة إلى كمية الكلور المضاف. هذا موضح في الشكل (٣/١٧). الكلور المطلوب وجرعة نقطة الانكسار يختلفان، طبقاً لنوع المياه. أحياناً، يكون المطلوب جرعات من الكلور حتى ١٠ ملجرام/ لتر للحصول على الكلور الحر المتبقي بنسبة ٠,٥ملجرا/لتر.



شكل (٣/١٧) منحنى نقطة انكسار الكلورة

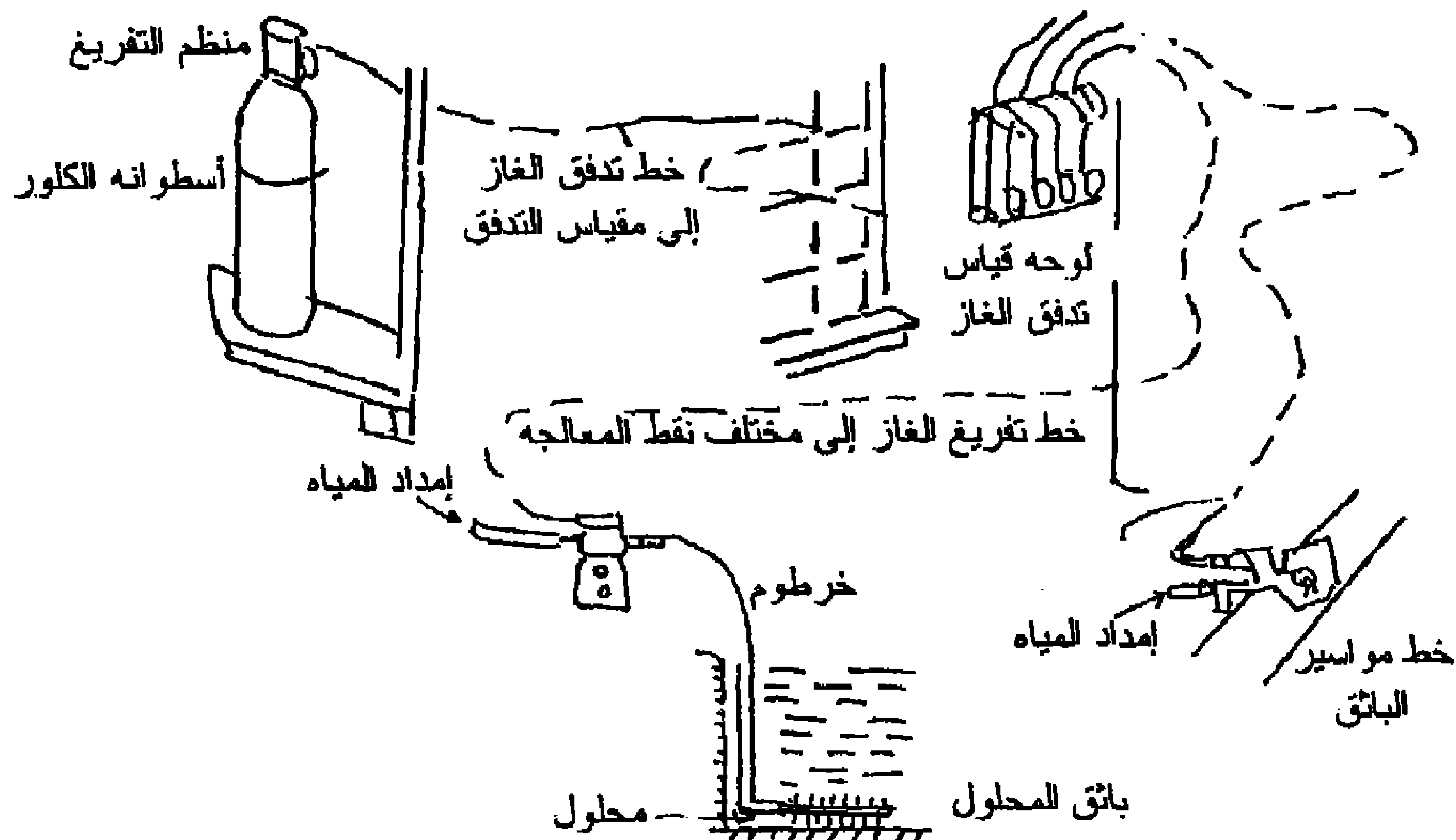
طرق الكلورة : (Chlorination Methods)

الكلور يتوفر تجاريا في شكل غاز الكلور أو في شكل مادة صلبة أو سائلة تسمى مركبات الهيبوكلوريتس. لتطهير أحجام ضخمة نسبياً من الماء فإن استخدام الكلور الغاز يعتبر اقتصادياً ولكن بالنسبة للأحجام الصغيرة من الماء فإن الشائع هو استخدام مركبات الهيبوكلوريتس(Hypochlorites).

غاز الكلور يتم تعبئته و نقله في أسطوانات من الصلب للغاز المضغوط. عند الضغط فإن الكلور يكون في الشكل السائل في الاسطوانة، وعند تحرره من الاسطوانة فإنه يتبخر إلى الغاز. تتراوح طاقة الاسطوانة ما بين ٤٥كيلو جرام (١٠٠ رطل) إلى حوالي ١٠٠٠ كيلوجرام (١طن). محطات معالجة المياه أو مياه الصرف الضخمة قد تستخدم خزانات محمولة على عربات القطار المملوءة بالكلور.

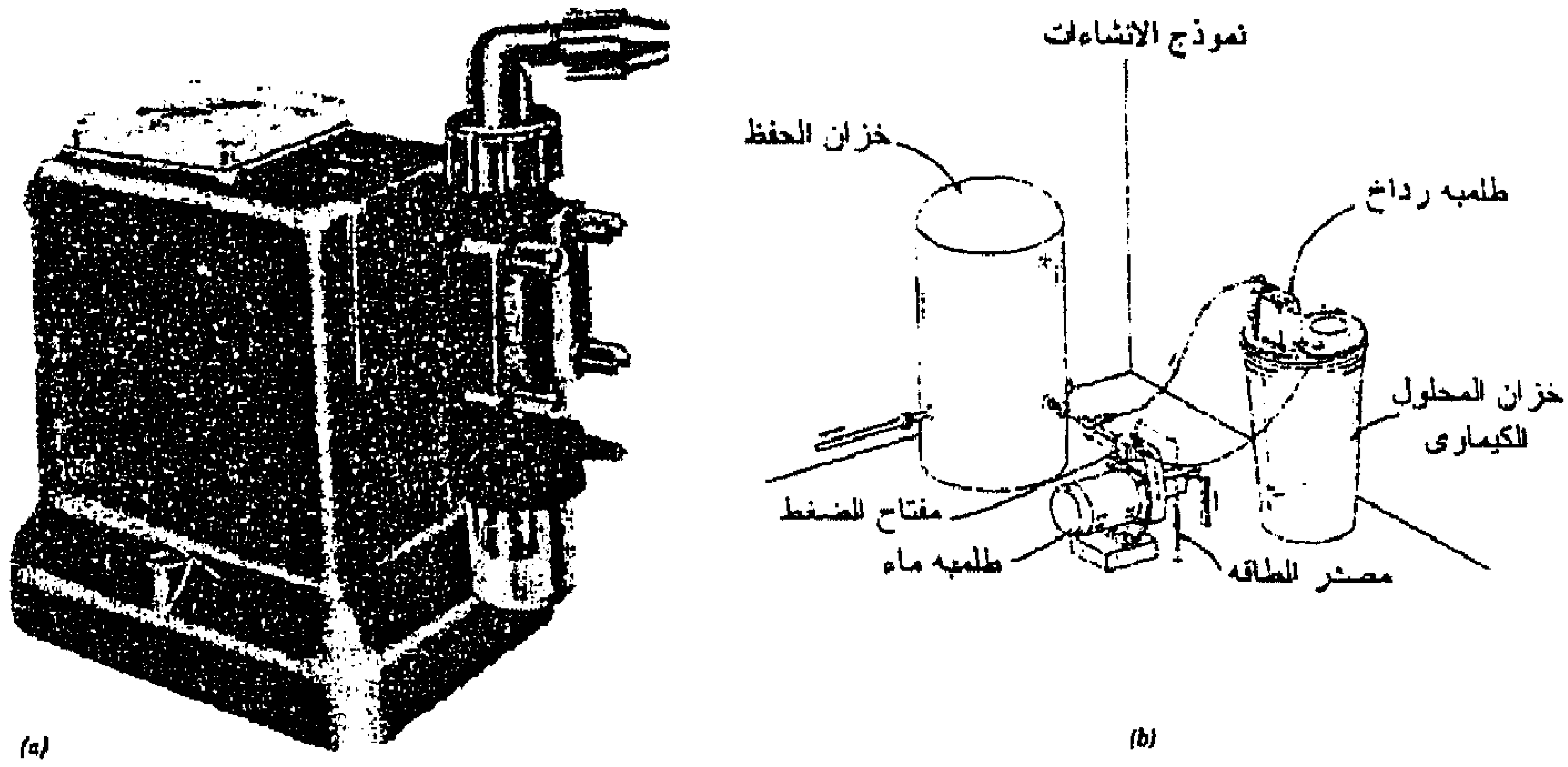
التجهيزة المناسبة للتغذية بالكلور تسمى جهـاز الكلـورة بـالتفريغ (All Vacuum Chlorinator) وهى أنسب تجهيزة للتغذية الآمنة بالكلور. وهذه التجهيزة تحمل مباشـرة فوق اسطوانة الكلور. الكلور الغاز يكون دائماً تحت تفريغ جزئى فى الخط الذى يحملـه إلى نقطة الاستخدام، تسرب الكلور لا يمكن أن يحدث فى هذا الخط.

نموذج للتغذية بالكلور تحت التفريغ موضح فى الشكل (٣/١٨). يتكون التفريغ بتدفق المياه خلال وحدة البثق (Ejector Unit) عند سرعة عالية. توجد أنواع أخرى من أجهزة التغذية بالكلور بعض منها حيث الكلور أو محاليل الكلور عالية التركيـز يـتم إرسـاله مسافات طويلة نسبياً تحت الضغط. وهذه تمثل مخاطر تسرب الكلور إلى حد ما. فى أى منشأة للتغذية بالكلور تكون عوامل الأمان شديدة الأهمية بسبب سمية الغاز.



شكل (٣/١٨) نموذج لنظام تغذية الكلور بالتفريغ. توجد مخاطر قليلة من تسرب غاز الكلور ذلـك لأن خط التغذية بالكلور عند ضغط أقل من الضغط الجوى

عادة تستخدم الهيبوكلوريتس مع الماء فى الشكل السائل بواسطة مضخات صـغيرة، مثل تلك الموضحة فى الشكل (٣/١٩).



شكل (٣/١٩) (a) نموذج لجهاز التغذية بالهيبوكلوريت أو طلمبة قياس المحلول.

(b) نموذج لإنشاءات الكلورة بالهيبوكلوريت.

يوجد نوع من الطلمبات موجبة الإزاحة، والتى تدفع كمية معينة من السائل فى كل شوط للمكبس أو الغشاء المرن.

يوجد نوعين من مركبات الهيبوكلوريتس للتطهير، هما هيبوكلوريت الصوديوم وهيبو كلوريت الكالسيوم. هيبو كلوريت الصوديوم متاح فقط فى الشكل السائل ويحتوىعلى حتى ١٥% من الكلور المتاح. وهو عادة يتم تخفيفه بالماء قبل استخدامه كمطهر. (عادة سائل تبييض الغسيل هو محلول بتركيز ٥% من هيبوكلوريت الصوديوم). هيبوكلوريت الكالسيوم هو مركب جاف، يتوفر فى الشكل الحبيبى. وهو سريع الذوبان فى الماء. محاليل هيبوكلوريت الكالسيوم أكثر ثباتاً من محاليل هيبوكلوريت الصوديوم والذى يتلف مع مرور الوقت.

بالإضافة إلى الرقم الهيدروجينى (pH)، فإن تأثير الكلور ومركبات الكلور فى القضاء على البكتريا يتوقف على تركيز الكلور وزمن الالتصاق (Contact time). زمن الالتصاق هو الفترة الزمنية التى يعمل خلالها الكلور الحر أو المتحد على الكائنات الحية الدقيقة. عند رقم هيدروجينى قريباً من ٧ (حالات التعادل)، فإن الكلور الحر المتبقى بتركيز ٠,٢ ملجرام/ لتر مع زمن التصاق قدره عشر دقائق له تقريباً نفس قدرة التطهير مثل الكلور المتحد المتبقى بتركيز ١,٥ ملجرام/ لتر مع زمن التصاق قدره ساعة واحدة. يمكن تعيين تأثير الكلورة باختبار الكوليفورم، أوبواسطة اختبار مناسب للكلور المتبقى فى المياه المعالجة. الطريقة المناسبة لاختبار الكلور المتبقى تسمى (DPD)، (Chlorine Residual

Test). شنط اختبار ميدانية متاحة. طريقة الاختبار المبنية على مقارنة اللون، تستغرق خمس دقائق فقط.

فى اختبار (DPD) يتم إضافة صبغة كيماوية لعينة الماء. الصبغة تتحول إلى اللون الأحمر في حالة وجود كلور متبقى، وتتناسب شدة اللون الأحمر مع تركيز الكلور. يفترض أن وجود الكلور المتبقى يؤكد أنه لا توجد كائنات حية دقيقة تعيش فى الماء. يمكن قياس إما المتبقى الكلى أو المتبقى الحر أو المتبقى المتحد باستخدام شنطة اختبار (DPD).

من الضرورى عادة حساب الوزن الكلى للكلور المستخدم فى محطة المعالجة ليمكن القدرة على تنظيم الإمداد بالكلور فى الوقت المناسب. كذلك يمكن أن يكون من الضرورة تعيين جرعة الكلور المستخدم أو التركيز فى حالة معرفة الوزن المستهلك. العلاقات الآتية مفيدة فى هذه الأغراض :

$$Kg/d = Q \times C$$

حيث : Q = معدل التدفق مليون لتر فى اليوم.

C = تركيز الكلور ملجرام/ لتر.

أو $1b/d = 8.34 \times Q \times C$

حيث : Q = معدل التدفق مليون جالون فى اليوم.

C = تركيز الكلور ملجرام/ لتر.

٨,٣٤ = رطل/ جالون من الماء.

مثال :

كم عدد الأرطال من الكلور فى اليوم تلزم لتطهير تدفق ٧,٥ مليون جالون فى اليوم بجرعة كلور ٠,٥ ملجرام/ لتر؟

كم عدد أسطوانات الكلور سعت ١٠٠ رطل مطلوباً فى الشهر.

الحل :

باستخدام المعادلة $1b/s = 8.34 \times Q \times C$

∴ $0.5 \times 7.5 \times 8.34 = 1b/d = 31\ Ib/d$

و $100\ Ib \div 30\ d \times 31\ Ib/d = 9.4\ Cylender$

أى لا يقل عن ١٠ أسطوانة كلور شهريا.

مثال :

يستخدم إجمالى ١٥ كيلوجرام من الكلور يوميا لتطهير حجم من الماء يساوى ٥٠ مليون لتر. ما هي جرعة الكلور؟

الحل :

باستخدام المعادلة $Kg/d = Q \times C$

∴ $15\ kg/d = 50\ ML/\ D \times C$

∴ C = ١٥٠ ÷ ٥٠ = ٠,٣ ملجرام/ لتر.

طرق أخرى للتطهير :

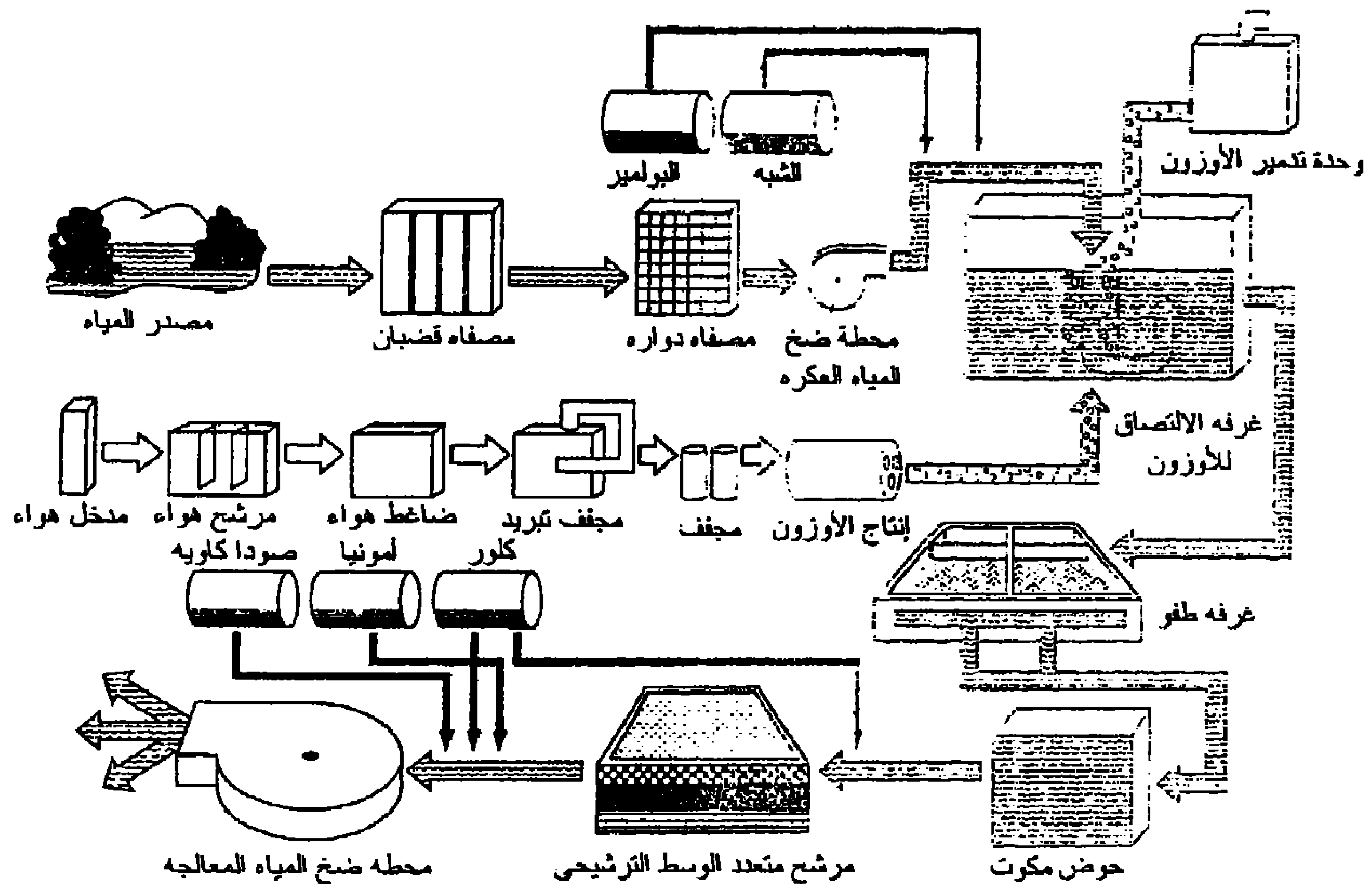
الكلورة هى الطريقة الأكثر استخداماً لتطهير إمدادات المياه للشرب ذلك بسبب اقتصادياتها وقدرتها على توفير المتبقى لاستمرار الحماية. زاد الاهتمام بطرق أخرى للتطهير فى السنين الأخيرة أساساً بسبب مشاكل تكون التراى هالوميثان وتأثيره على الصحة العامة.

الأوزون (Ozone)

الأوزون (O_3) غاز عالى النشاط عند درجة الحرارة العادية والضغط العادى كما أنه يعمل كمؤكسد ومطهر قوى عند خلطه بالماء. لقد استخدم الأوزون لأكثر من ٩٠ عاماً فى الدول الأوربية كبديل للكلور، الذى أحيانا يترك رائحة ومذاقا ملحوظاً فى مياه الشرب. يمكن إنتاج الأوزون بتمرير تيار كهربى عالى الفولتية خلال الهواء أو الأكسجين، ولكن نظراً لأنه غير مستقر ولا يمكن تخزينه، فإنه يلزم تصنيعه فى الموقع، حيث يتم استخدامه. ونظراً لأنه لا يترك متبقى يمكن قياسه فى الماء بعد فترة الالتصاق الأولى، فإن قليلا من الكلور يجب استخدامه لتأكيد استمرار التطهير مع تدفق المياه خلال شبكة التوزيع.

بالإضافة إلى قدرة الأوزون على العمل كمطهر بدون أن يسبب مشاكل للرائحة والمذاق، فإنه لا يتفاعل ليكون مركبات التري هالوميثان وكذلك فإن الأوزون مطهر أقوى من الكلور ويمكنه تثبيط نشاط معظم الفيروسات بالإضافة إلى البكتريا. كما يمكنه المساعدة كمروب عند استخدامه مع الشبه وبذا يقلل من كمية الكيماويات اللازمة للضبط النهائي للرقم الهيدروجيني للماء ليكون غير عدواني. بسبب أنه يساعد كثيراً في عملية الترويب، فإن الأوزون يمكن كذلك أن يسهل عملية الترشيح المباشر مع عدم الحاجة إلى أحواض الترسيب الكبيرة.

بالرغم من هذه المميزات فإن التكاليف العالية لإنتاج واستخدام الأوزون مقارنة بتلك للكلور قد قللت من انتشار استخدام الأوزون كمطهر. ولكن توجد استثناءات لهذا، فمثلاً يستخدم الأوزون في محطة معالجة لوس أنجلوس بطاقة ٥٠٠ مليون جالون في اليوم. كما يستخدم في ترويق وتطهير محطة معالجة بطاقة ١٥٠ مليون جالون في اليوم في هاورث (Haworth)، في نيوجيرسي، كلا هاتين المحطتين تستخدم كذلك الترشيح المباشر. المخطط الذي يوضح الخطوات الرئيسية للمعالجة موضح في الشكل (٣/٢٠).



شكل (٣/٢٠) مخطط لعملية التطهير بالأوزون

الأوزون يعتبر مطهراً له تأثير أقوى من الكلور وهو يستخدم لمنع انتشار الأمراض الوبائية، مراحل استخدام الأوزون كمطهر يمكن توضيحها فى دراسة الحالة الآتيـة فـى محطة معالجة المياه فى (Milwaukee Wisconisin)

الخطوة رقم (١) :

يتم سحب المياه من خزان المياه الخام إلى عملية المعالجة بواسطة طلمبات المأخـذ. مع دخول المياه المحطة، فإن مصافى القضبان تزيل الأجسام الكبيرة، ويتم إضافة كميات صغيرة من المرويات الكيماوية للمساعدة فى إزالة الأجسام الصغيرة وتنقية المياه.

الخطوة رقم (٢) :

يتم أولا ترشيح الهواء الخارجى الذى سيتم إنتاج الأوزون منه ثم تبريده وتجفيفه.

الخطورة رقم (٣):

الهواء المعالج يمر فوق كثير من الأنابيب الزجاجية كل منها مجهز (Fused) بشعيرة كهربية، ومضة مثل الشحنة الكهربية تنقل الأكسجين فى الهواء إلى خليط مـن الأوزون والأكسجين.

الخطوة رقم (٤) :

فى غرفة التصاق الأوزون، فقاعات الأوزون الصغيرة تتحرك إلى أعلى مع تـدفق المياه إلى أسفل فى اتجاه معاكس. الفقاعات المرتفعة تساعد فى خلط المرويات والمـاء، تحمل الجسميات الصغيرة إلى أعلى، وتدمير البكتريا والفيروسـات. أى أوزون متبقـى يتحول ثانياً إلى الأكسجين بواسطة محول (Catalytic Convertor) فـى وحـدة تـدمير الأوزون.

الخطوة رقم (٥) :

المياه المعالجة بالأوزون تتدفق إلى غرفة الطفو، حيـث الكاشـكات تزيـل المـواد الطافية.

الخطوة رقم (٦) :

المياه التى تم كشطها تتدفق إلى أحواض المكبس، حيث يحـدث ترسـيب إضـافى للجسيمات العالقة.

الخطوة رقم (٧) :

تتدفق المياه بالجاذبية إلى أ سفل خلال مرشحات مزدوجة الوسط الترشيحي الحبيبى.

الخطوة رقم (٨) :

يتم إضافة كميات صغيرة من الكلور لتأكيد استمرار التطهير فى شبكة التوزيع، وتضاف كيماويات أخرى لمعالجة التآكل وكذلك الحالات المثيلة لإذابة الرصاص (الموجود فى السباكة المنزلية) في الماء.

الخطوة رقم (٩) :

طلمبات كهربية ضخمة تدفع المياه المعالجة إلى شبكة التوزيع.

الإشعاعات فوق البنفسجية (Ultraviolet Radiation)

يمكن استخدام ضوء الأشعة فوق البنفسجية فى التطهير، ضوء الأشعة فوق البنفسجية عبارة عن إشعاع كهرومغناطيسى فوق نهاية الطيف الضوئى مباشرة، خارج مجال الضوء المرئى. له طاقة أعلى من الضوء المرئى، وفى جرعات عالية يدمر البكتريا والفيروسات. الطاقة الفوق بنفسجية يتم امتصاصها بواسطة المادة الوراثية (Genetic) فى الكائنات الحية الدقيقة، حيث تتداخل وتعيق قدرتها على التكاثر والحياة. يتم إنتاج الضوء الفوق بنفسجى بالعديد من المصابيح، المغمورة، لمبات الزئبق ذات الضغط المنخفض هى الأفضل والأكثر ملاءمة للاستخدام فى نظم التطهير ذلك لأنها نتيجة جزء كبير من الطاقة الفوق بنفسجية التى يتم امتصاصها.

نظم التطهير بالأشعة فوق البنفسجية لا تتضمن تداول الكيماويات كما فى حالة نظم الكلور والأوزون، بذا تقل الاحتياطات المتعلقة بالكيماويات. مثل الأوزون فإن الإشعاعات الفوق بنفسجية لا تترك أى متبقى فى الماء. التقدم فى تكنولوجيا مصباح الإشعاع الفوق بنفسجى المبيد للميكروبات جعلت استخدام الأشعة فوق بنفسجية فى التطهير طريقة اقتصادية ويعتمد عليها.

٦- عمليات المعالجة الأخرى :

الترويق بالمرويات والترسيب والترشيح يزيل المواد الصلبة العالقة والملوثات والعكارة من مياه الشرب. الخطوة الأخيرة للتطهير تنتج مياه الشرب، الخالية من الكائنات الدقيقة الممرضة ولكن عمليات معالجة أخرى يمكن أن تكون مطلوبة وخاصة لإزالة

بعض من المواد المذابة. هذه الطرق يمكن استخدامها بالإضافة إلى الترويق أو منفردة طبقا لمصدر ونوعية المياه الخام.

فمثلاً، المياه الجوفية لا تتطلب الترويق ذلك لأنها مرشحة طبيعيا خلال طبقات التربة التى سحبت منها، تطهير إمدادات المياه الجوفية هو أساساً خطوة احتياطية حيث أن هذه المياه خالية طبيعياً من الكائنات الممرضة وإن كان يلزم حقن جرعة من مطهر الكلور قبل ضخها فى شبكة التوزيع.

وبسبب التصاق المياه الجوفية مع التربة والصخور، فإن المياه الجوفية يمكن أن تحتوى على مستويات مرتفعة من الأملاح المذابة التى يلزم إزالتها. ولذلك سيتم تناول طرق إزالة هذه المواد سواء فى المياه السطحية أو الجوفية.

إزالة عسر المياه (Water Softening)

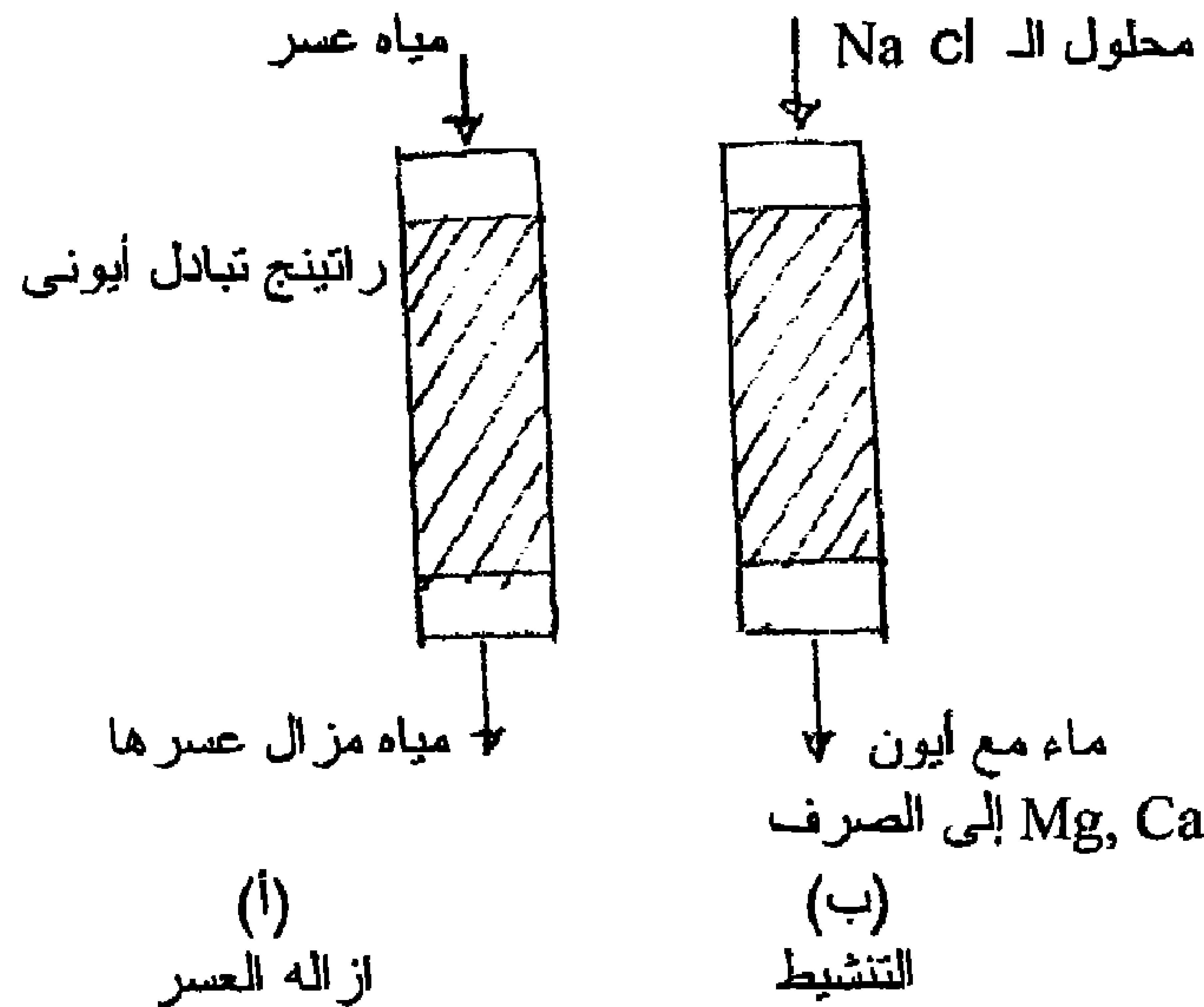
المياه التى تحتوى على أملاح مذابة لمركبات الكالسيوم والمغنسيوم تعرف بأنها مياه عسر. عسر المياه يتداخل مع وجود الرغوة فى الصابون وكذلك يسبب ترسيبات قشرية فى سخانات المياه، المواسير، ومهمات السباكة. وهذه أساساً مشكلة اقتصادية وكذلك متعلقة بقابلية المياه للشرب واستساغتها أكثر منها مشكلة متعلقة بالصحة العامة. عموماً عند زيادة العسر عن ٥٠٠ ملجرام/ لتر فى المياه الخام فإنه يفضل إزالة الكالسيوم والمغنسيوم فى محطة المعالجة المركزية. عملية إزالة هذه المواد تسمى (Water Softening) الطريقتان المستخدمتان لإزالة العسر هما طريقة الجير الصودا (Lime-soda Method) وطريقة التبادل الأيونى (Ion Exchange Method).

فى طريقة الجير الصودا، يتم إضافة مادتين كيماويتين إلى الماء لإحداث ما يسمى بتفاعل الترسيب. هذه الكيماويات هى الجير المطفى $Ca\ (OH)_2$، الصودا آمن $(Na2\ CO_3)$. يحدث تفاعل بين هذه الكيماويات وأيونات الكالسيوم والمغنسيوم المذابة فى الماء، بما يسبب تكون كربونات الكالسيوم $(Ca\ CO_3)$، أيدروكسيد المغنسيوم $(Mg\ (OH)_3)$ وكلاهما غير مذاب فى الماء.

نظراً لأنهما لا يذوبان فى الماء فإن مركبات كربونات الكالسيوم وأيدروكسيد المغنسيوم يرسبان خارج المحلول. لذلك فإن العملية يليها بعد ذلك الترسيب والترشيح لإزالة الرواسب الغير مذابة وترويق الماء. كذلك يمكن إضافة ثانى أكسيد الكربون (CO_2) إلى الماء لترسيب زيادة من الكالسيوم ولضبط الرقم الهيدروجينى الذى يرتفع بسبب إضافة الجير المطفى $Ca\ (OH)_2$، وهذه العملية تسمى إعادة الكربنة (Recarbonation).

يشمل إزالة العسر بالتبادل الأيونى مرور المياه خلال عامود يحتوى على مادة تبادل أيونى خاصة. تستخدم أنواع مختلفة من مواد التبادل الأيونى، بما فيها المواد الطبيعية التى تسمى الزيوليت (Zeolites) والراتنجات المخلقة. عند التصاق المياه المحتوية على أيونات الكالسيوم والمغنسيوم مع هذه المواد يحدث تبادل للأيونات. حيث تؤخذ أيونات الكالسيوم والمغنسيوم بواسطة الراتنج، بينما أيونات الصوديوم (N_a^+) تنطلق فى الماء.

مخطط لعملية التبادل الأيونى موضح فى الشكل (٣/٢١).



شكل (٣/٢١) عامود لتبادل الأيونى لإزالة العسر (أ)

التنشيط وإعادة الاستخدام (ب)

يحدث إستنفاذ لطاقة التبادل الأيونى للزيوليت أو الراتنج حيث يلزم إعادة تنشيط المبادلات لاستمرار استخدامها. يتم ذلك بغسيل المبادل الأيونى بكلوريد الصوديوم فى شكل محلول. أيونات الصوديوم تحل محل أيونات الكالسيوم والمغنسيوم والتى يتم صرفها والتخلص منها عندئذ يمكن البدء فى عملية إزالة العسر.

إزالة العسر بالتبادل الأيونى تمكن من إنتاج مياه ذات مستوى من العسر يساوى صفر، ولكن ليس هذا مطلوبا فى حالة مياه الشرب. المياه الخالية من العسر يمكن أن تكون عدوانية بما قد يسبب التلف لمعدن المواسير والسباكة. يعتبر مستوى العسر ١٠٠ ملجرام/ لتر مناسبا لمياه الشرب. توجد شواهد نحو وجود العسر بمستويات متوسطة فى مياه الشرب حيث يقلل ذلك من أمراض القلب. العامل الآخر الذى يلزم مراعاته هو أن

المياه المزال عسرها من المبادل الأيونى تحتوى على الصوديوم، والذى يمكن أن يكون ضاراً للأشخاص الذين لديهم أمراض القلب. فى مثل هذه الحالات فإن المياه المزال عسرها قد لا تكون مناسبة للاستهلاك. أخيراً، يجب ملاحظة أن إزالة العسر بالتبادل الأيونى لا ينتج راسب أو حمأة وهو عموماً أقل فى التكلفة مقارنة بإزالة العسر بطريقة الجير الصودا. ولكن بسبب المسببات التى ذكرت، يكون عادة من المفضل استخدام التبادل الأيونى فى إمدادات المياه فى الصناعة أو للاستخدام فى إزالة العسر للوحدات المنزلية المستقلة.

التهوية (Aeration)

عملية المعالجة الطبيعية حيث يتم الخلط الجيد للهواء مع الماء تسمى التهوية. الالتصاق الجيد مع الهواء والأكسجين يمكن أن يحسن نوعية المياه بعدة طرق، فمثلاً، أحد الاستخدامات العادية للتهوية هى التحكم فى المذاق والرائحة. الغازات المذابة التى قد تسبب مشاكل المذاق والرائحة مثل كبريتيد الهيدروجين، يتم انتقالها من الماء إلى الهواء أثناء عملية التهوية. هذا الاستخدام يسمى كذلك الكسح أو الغسيل بالهواء (Air Stripping).

تستخدم التهوية كذلك فى إزالة الحديد والمنجنيز من الماء، وخاصة من إمدادات المياه الجوفية. أكسجين الهواء الجوى يتفاعل مع الحديد والمنجنيز ليكون راسباً غير مذاب (صدأ) عندئذ يكون من الضرورى إجراء عمليات الترسيب والترشيح لترويق المياه. توجد عدة طرق لتهوية المياه. الطريقة التى يتم اختيارها تتوقف أساساً على نوع وتركيز المادة المطلوب إزالتها من الماء وعلى الضغط الرأسى المتاح. التهوية باستخدام نافورات الرش توفر مساحة التصاق كبيرة بين المادة والهواء، ولكن يلزم ضغط مرتفع نسبياً ومساحة أكبر. رش الماء فى الهواء يمكن أن يتبعه سقوط الماء على مصاطب والتدفق فى رقائق دقيقة إلى أسفل خلال مصاطب خرسانية أو معدنية. منشآت المصاطب تحتاج إلى السقوط ثلاثة أمتار على الأقل.

طريقة أخرى عادية للتهوية تستخدم أجهزة التهوية متعددة الصوانى (Multiple Tray Aerators) وهذه تتكون من مصفوفة طويلة من الصوانى المثقبة أو الفواصل ذات الفتحات الغير متطابقة. يتم دخول المياه من أعلى حيث يتدفق إلى أسفل فى طبقات رقيقة أو فى رقائق من التدفق. فى بعض الحالات، يمكن استخدام مروحة أو هواية لدفع الهواء إلى أعلى خلال مصفوفة الصوانى لزيادة زمن الالتصاق مع الهواء.

بالنسبة لأحجام المياه الكبيرة جداً، تكون الطريقة العملية للتهوية هى باستخدام أجهزة التهوية الباثقة للهواء (Diffused- Air Aerators). فى هذا النوع من أجهزة التهويـة يـتم ضخ الهواء باستخدام ضواغط الهواء ذات الطرد المركزى فى حوض الماء. يدخل الهواء إلى الماء عند قاع الحوض خلال فتحات بثق خاصة أو ثقوب مكوناً فقاعات هواء التـى تصبح جيدة الخلط مع الماء. أجهزة الخلط الميكانيكية تتكون من دافع ضخم الذى يخترق الماء عند السطح تستخدم فى تهوية المياه ومياه الصرف.

الكربون المنشط (Activated Carbon)

الكربون المنشط الذى يتم الحصول عليه من الفحم أو الخشب له خاصيتين أساسيتين بما يجعله مفيد فى تنقية المياه. أولاً، فهو مادة شديدة المسامية وله نسبة عالية ممتازة ما بين المساحة السطحية ووحدة الوزن حتى ١٠٠ فدان للمساحة لكل رطل واحـد. ثانيـاً، سطح الكربون المنشط يجذب ويقتنص كثيراً من الملوثات فى المـاء، وخاصـة المـواد العضوية المذابة. وهذا ما يسمى بالامتصاص والذى هو ظاهرة سطحية.

الامتصاص على الكربون المنشط طريقة مؤثرة لإزالة المـواد العـضوية المذابـة المسببة لمشاكل المذاق والرائحة فى مياه الشرب وهو كذلك مـؤثر فـى إزالـة المـواد العضوية التى تتفاعل مع الكلور مكونة مركبات التراى هالو ميثان بعد التطهير.

عندما تصبح أسطح الكربون مغطاة بالملوثات، فإن الكربون يمكن تنظيفه أو تنشيطه بالتسخين عند درجة حرارة مرتفعة فى فرن خاص. المواد العضوية يتم طردهـا بفعـل الحرارة، عندئذ يمكن إعادة استخدام الكربون، ولكن التنشيط فـى الموقـع، بـدلاً مـن الاستبدال الكامل بكربون جديد، هو فقط اقتصادى لمحطات معالجـة الميـاه الـضخمة، الكربون المنشط متاح فى شكل مسحوق دقيق أسود أو فى شكل حبيبـات. يمكـن خلـط مسحوق الكربون مع الماء باستخدام تجهيزة خاصة للتغذية الجافة عند نقطة فى محطـة المعالجة التى تسبق عملية الترشيح، حيث تزال من المياه بواسطة المرشحات. حبيبـات الكربون المنشط تستخدم أحياناً فى طبقة المرشح نفسها، حيث تجمع ما بين الامتـصاص والترشيح فى وحدة المعالجة.

التطوير الحديث فى معالجة المياه هـو باسـتخدام الكربـون البيولـوجى النـشط (Biologically Active Carbon) كوسط ترشيحى لإزالة المواد العضوية الزائـدة القابلـة للتحلل البيولوجى ونواتج تفاعلات التطهير من مياه الشرب المعالجة. فى عملية المعالجة باستخدام الكربون البيولوجى المنشط فإن النبتة الطفيلية التى تعتمد فى غذائها على كائنات

أخرى أو إنتاجها تعيش فى مجال حبيبات الفحم وتمارس بناء البروتوبلازم (الأيض) من مواد (Heterophic Bacteria Colonize) مجال حبيبات الفحم و(Metabolize) المواد العضوية القابلة للتحلل البيولوجى ويتم ذلك فى حوض إضافى أو ملامس. بالنسبة لمياه من مصادر معينة الكربون البيولوجى المنشط يمكنه خفض المحتوى من المواد العضوية أكثر من استخدام الكربون المنشط فقط. يكون من الضرورى عادة البدء بتحويل المواد العضوية الغير قابلة للتحلل البيولوجى إلى الشكل القابل للتحلل البيولوجى، وذلك باستخدام الأوزون قبل وحدات الكربون البيولوجى المنشط. ملامسات الكربون البيولوجى المنشط عادة تضاف عند نهاية نظام المعالجة وقبل التطهير.

مقاومة التآكل (Corrosion Control)

التآكل أو صدأ المعادن فى نظم إمدادات المياه يمكن أن يكون مشكلة خطيرة. نظراً لأن التآكل يشمل انتقال الإلكترونيات فإن طرق المقاومة تعنى إيقاف تدفق الألكترونيات ما بين الماء والمعدن المعرض للتآكل. أحد طرق ذلك هو بإضافة كيماويات تسمى (Complexing Agents) إلى الماء هذه الكيماويات مثل سيليكات الصوديوم أو فوسفات الصوديوم يتم إضافتها بتركيزات حتى ١ ملجرام/لتر. وهى تتحد كيماويا مع المعدن لتكوين حاجزاً الذى يوقف تفاعل التآكل هذه الكيماويات تسمى مثبطات التآكل. ضبط الرقم الهيدروجينى للمياه المعالجة يستخدم كذلك لمنع حدوث التآكل فى شبكة التوزيع.

إضافة الفلور (Flouridation)

الفلوريدات مؤثرة فى منع تسوس الأسنان، وخاصة بالنسبة للأطفال الصغار. كثير من المجتمعات تضيف الفلوريدات للماء كإجراء حماية للصحة العامة. يتم ذلك بإضافة فلوريد الصوديوم (NaF) أو صوديوم سيليكو فلورايدا (Na2Si F6) إلى الماء بعد الترشيح. من المهم أن تكون جرعة الفلوريد محكمة حيث أقصى تركيز هو ١ملجرام/لتر. زيادة التركيز يمكن أن تسبب تغير فى لون مينا الأسنان والذى يسمى (Dental Fluorisis).

الإعذاب Desalination

المياه ذات المستويات المرتفعة من الأملاح المذابة غير مناسبة لمعظم الاستخدامات المنزلية والصناعية والزراعية. وهذه تشمل كلا من المياه الخمضاء (Brakish Water) وهى تلك المياه ذات المحتوى من الأملاح المذابة أكثر من ١٠٠٠ملجرام/لتر، ومياه البحر ذات المحتوى من الأملاح المذابة حوالى ٣٥٠٠٠ملجرام/لتر. يمكن فصل المياه

العذبة من مياه البحر أو من المياه الخمضاء بعملية تسمى الإعذاب أو التحلية. رغم أن هذه العملية مكلفة إلا أن عملية الإعذاب يمكن أن تكون اقتصادية كبديل لنقل كمية كبيرة من المياه العذبة إلى مسافات بعيدة، التطور فى تكنولوجيا التحلية جعلها بديل معالجة مجدى.

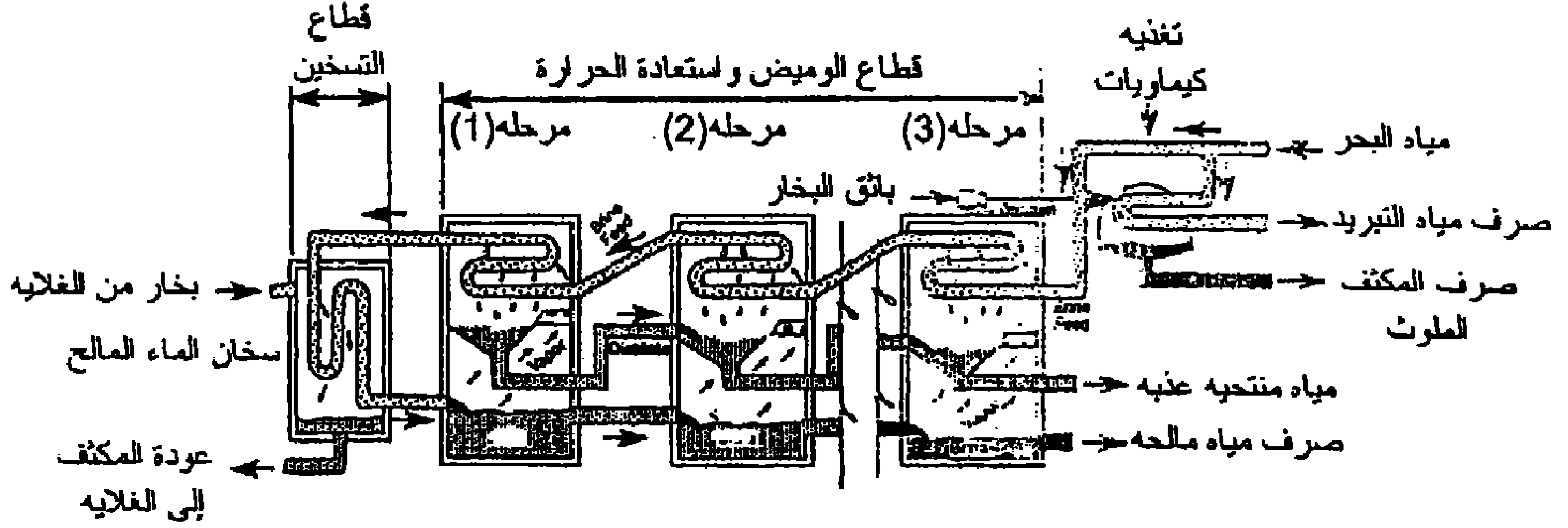
المياه المحلاة حاليا تمد كثيراً من المناطق فى العالم بمياه الاستخدام المنزلى وخاصة فى منطقة الشرق الأوسط ومنطقة الكاريبى والشمال الأفريقي والمناطق الأخرى ذات الكثافة السكانية العالية. أقامت إسرائيل وحدات تحلية فى أشدود بطاقة ١٨٠ مليون لتر فى اليوم، وهى ستكون أكبر محطة فى العالم. تكنولوجيا التحلية للإمدادات المنزلية للمياه تستخدم كذلك فى المناطق الساحلية. توجد طريقتان أساسيتان لإعذاب المياه وهما العمليات الحرارية وطرق الغشاء.

الطرق الحرارية تشمل انتقال الحرارة وتغير المجال للماء إما للبخار أو للثلج. طريقة الغشاء تستخدم شرائح رقيقة من مواد خاصة التى تسمح بمرور المياه العذبة وليس الملح كلا من هاتين الطريقتين يتطلب مدخلات ضخمة من الطاقة لعملها.

الطريقة الحرارية الشائعة الاستخدام هى التقطير الوميضى متعدد المراحل (Multistage Flash Distillation)< في التقطير، يتم فصل الماء العذب من الماء المالح بالحرارة، التبخير والتكثيف، التقطير الوميضى متدد المراحل هو تقنية تسمح بإنتاج كميات ضخمة من المياه المحلاة. وهى تقنية مبنية على حقيقة أن درجة حرارة غليان الماء تنخفض مع انخفاض ضغط الهواء، بما يقلل من كمية الطاقة اللازمة للتبخير، العملية تتم فى سلسلة من الأوانى المغلقة (المراحل) التى توضع عند ضغط منخفض بالتتالى، يتم توفير الحرارة بالبخار من غلاية، عند دخول المياه المالحة السابق تسخينها الوعاء حيث عند الضغط المنخفض، فإن بعضاً من المياه يغلى بسرعة (الوميض) إلى البخار. البخار يتم تكثيفه إلى مياه عذبة فى أنابيب التبادل الحرارى ثم يجمع فى صوانى أسفل الأنابيب، الماء المالح المتبقى يتدفق إلى المرحلة التالية، وبذا تستمر العملية، بعض المحطات يمكن أن تكون حتى ٤٠ مرحلة، هذه الطريقة موضحة فى الشكل (٣/٢٢).

الترطيب الشمسى (Solar Humidification) هو طريقة حرارية مناسبة أساساً لتوفير مياه محلاة للتجمعات الصغيرة حيث يتوفر ضوء الشمس، تتبخر المياه من السطح الحر عند درجة حرارة أقل من درجة حرارة الغليان. يمكن جمع المياه المالحة فى أحواض ضحلة فى إناء شمسى يشبه الصوبة وتسخينه مع مرور ضوء الشمس خلال غطاء مائل

من الزجاج أو البلاستيك الشفاف. ترتفع الأبخرة وتتكثف على الغطاء البارد، ثم تنساب المياه العذبة نحو قناة التجميع. رغم أن الطاقة من الشمس إلا أن السخان الشمسى مكلف حيث يتطلب مساحة كبيرة ويحتاج إلى طاقة إضافية لضخ المياه.



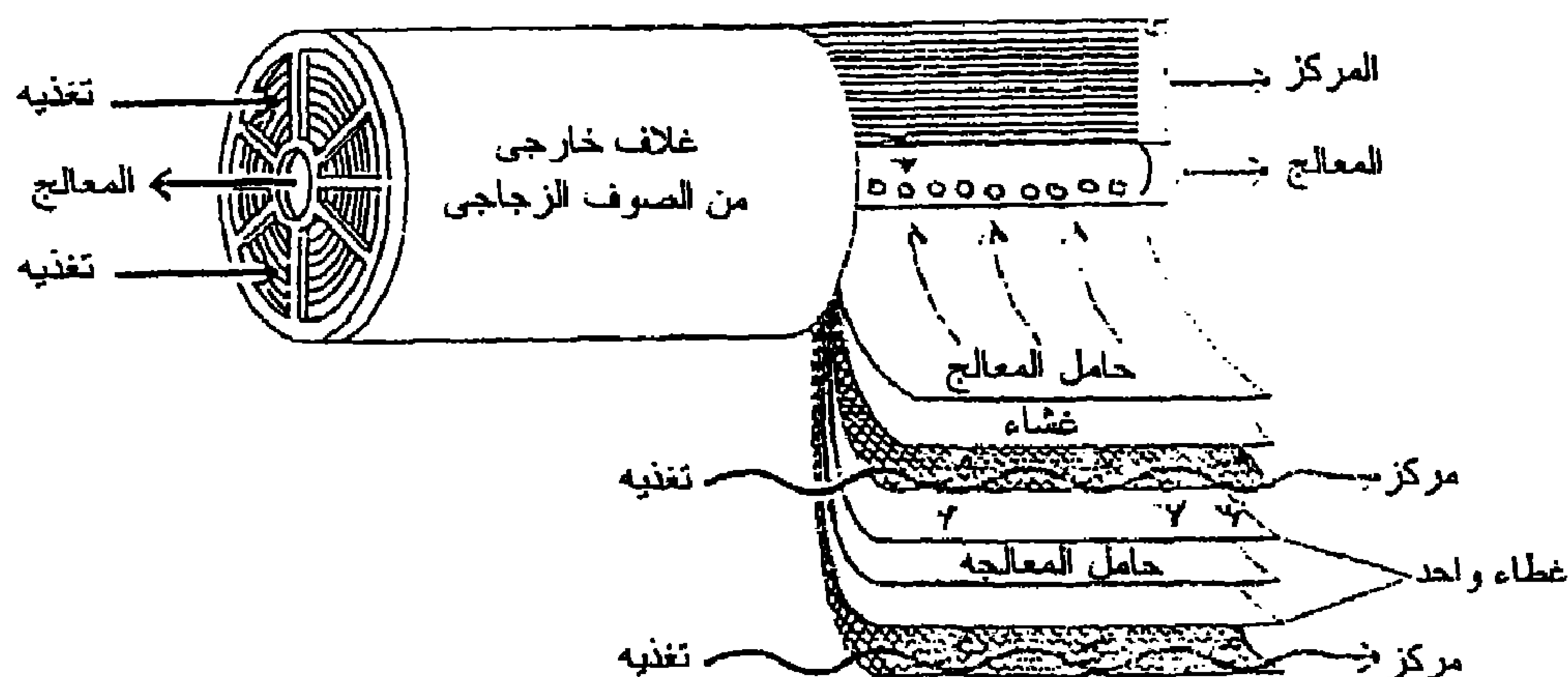
شكل (٣/٢٢) محطة التحلية بالتقطير الوميضى متعدد المراحل

التناضح العكسى والفرز الكهربى : (RO, ED)

Reverse Osmosis And Electro dialysis

كلا من التناضح العكسى والفرز الكهربى هما عمليات الغشاء للتحلية، ولكنهما عادة استخدامهما محدود لمعالجة المياه الخمضاء (حيث الملوحه من ٢٠٠٠ إلى ١٠٠٠٠ ملجرام/لتر) أو إمدادات المياه الجوفية وليس مياه البحر، فى الديلزة الكهربية أو الفرز الكهربى يستخدم فرق جهد خلال الماء المالح، مسبباً تحرك الأيونات فى اتجاه القطب ذو الشحنة المخالفة. الأغشية من البلاستيك التى تكون ذات خاصية نفاذية انتقائية للأيونات الموجبة أو السالبة تستخدم لفصل المياه العذبة من المياه المالحة.

فى التناضح العكسى (يسمى كذلك الترشيح الفائق) يقوم غشاء شبه نفاذ بفصل الماء المالح بتركيزين مختلفين يوجد ميل طبيعى للتركيزات لتصبح متساوية بتدفق الماء من الجانب المخفف إلى الجانب المركز (الأسموزي). ولكن الضغط العالى المستخدم على التركيزات العالية من جانب الغشاء يمكن أن يعكس هذا الاتجاه المتدفق. المياه العذبة تتسرب خلال الغشاء تاركة محلول ملحى أكثر تركيزاً، للمحافظة على المساحة وللمساعدة فى عمل تكنولوجيا التناضح العكسى كعملية مقبولة اقتصادياً، فإن الأغشية الشبه نفاذة يمكن وضعها فى حزم من طبقات متعددة من وحدات ملفوفة حلزونياً وعلى استقامة مواسير طويلة، كما هو موضح فى الشكل (٣/٢٣).



شكل (٣/٢٣) مخطط لوحدة التناضح العكسى بالغشاء الحلزونى يتم ضخ مياه التغذية الخمضاء (Brakish) عند ضغط عالى فى الأنبوب.

يلى المقطر الوميضى متعدد المراحل المستخدم أساساً لمعالجة مياه البحر التناضح العكسى هو الذى يليه فى إنتاج المياه المحلاة على مستوى العالم، ولكن، مقارنة بالمقطر الوميضى متعدد المراحل، فإن التناضح العكسى يتطلب فقط نصف الطاقة لإنتاج مياه الشرب. لا توجد ضرورة للتسخين فى حالة التناضح العكسى، معظم الطاقة المطلوبة هى لضغط مياه التغذية، ولكن، بسبب التطوير الحديث فى تحمل وكفاءة الغشاء الشبه نفاذ المخلق فإن سوق التناضح العكسى ينمو سريعاً أكثر من عمليات التقطير الوميضى متعدد المراحل.

الفصـــل الرابـــع
نظـــــم توزيـــــع الميـــاه

نظم توزيع المياه: (Water Distribution Systems)

نظام توزيع المياه عبارة عن شبكة متداخلة من خطوط المواسير وأحواض التخزين، الطلمبات، ومهمات صغيرة منها المحابس، وأجهزة القياس للتدفقات.

١- عوامل التصميم (Design Factors)

يبدأ تصميم نظام توزيع المياه بعد دراسة متطلبات المجتمع المخدوم من المياه، نظام توزيع المياه يجب أن يكون قادراً على توصيل الكميات المناسبة من المياه لمختلف الاستخدامات فى التجمع السكنى. كذلك يجب المحافظة على استمرار الضغط الكافى خلال الشبكة. يلزم رفع المساحة الحقلية للمنطقة المخدومة بما يتطلب تحضير خرائط للشوارع وللظواهر الطبوغرافية على خريطة ذات مقياس رسم صغير نسبياً (حوالى ١ : ٢٤٠٠٠ أو ١ بوصة = ٢٠٠٠ قدم)، يتم تخطيط العناصر الرئيسية للنظام، حيث يتم إظهار الأماكن العامة لمصادر المياه، محطات الضخ، أحواض التخزين..الخ. على خرائط ذات مقياس أكبر (حوالى ١ : ٦٠٠ أو ١ بوصة = ٥٠قدم). يتم وضع الأماكن الصحيحة للمكونات المقترحة بالتفصيل، مثل المرافق الموجودة كخطوط الصرف الصحى أو الغاز. هذه الرسومات يصاحبها مواصفات مكتوبة لوصف مواد وطرق الإنشاء.

التدفقات المطلوبة والضغط :

من المناسب تقسيم متطلبات المياه أو استخدامات المياه إلى أربعة أقسام كالآتى:

١- مياه الاستخدام المنزلى للشرب والنظافة العامة والاستخدامات الأخرى.

٢- المياه العامة لمقاومة الحريق ونظافة الشوارع والاستخدام فى المدارس والمبانى العامة الأخرى.

٣- مياه الاستخدامات الصناعية والتجارية والفنادق والمغاسل وما شابه ذلك.

٤- الفقد بالتسرب فى الشبكة وفى السباكة المنزلية.

إجمالى الاحتياجات من المياه لأى تجمع سكنى تختلف طبقاً للتعداد والنشاط الصناعى والتجارى والمناخ وتكاليف المياه. فمثلاً فى المناخ الحار الجاف يكون الاستخدام المنزلى هو الجزء الأكبر من كل الاستخدامات عن المناخ البارد، كذلك رش المساحات الخضراء بالماء من الاستخدامات العادية فى المناخ الجاف. ولكن عندما تكون تكاليف استهلاك المياه على المستهلك مقدرة بالأمتار المكعبة (من خلال العدادات) وليس طبقاً لمساحة الوحدة السكنية فإن الاستهلاك يقل ومتطلبات المياه بالتالى تنخفض.

احتياجات الفرد من المياه :

إذا كان الاستخدام السنوى الكلى للمياه لمجتمع مقسوماً على ٣٦٥يوم فإنه يتم الحصول على قيمة الاستهلاك اليومى، وفى حالة قسمة هذه القيمة على إجمالى عدد السكان فإنه يتم الحصول على معدل الاستهلاك للفرد فى اليوم، وهذه تقدر باللتر فى اليوم للفرد. فمثلاً، إذا كان متوسط الاستهلاك اليومى ٥ مليون لتر فى اليوم لتجمع سكنى مكون من ١٠٠٠٠ فرد، فإن متوسط استهلاك الفرد هو ٥٠٠ لتر فى اليوم. يجب معرفة أن هذا الرقم يشمل نصيب كل فرد من الاستخدامات الصناعية والتجارية والخدمية والفقد بالتسرب، وليس مجرد الاستخدام الشخصى فقط.

نظراً لأن الاحتياجات الحقيقية من المياه لمساحة سكانية جديدة تكون غير معلومة، فإنه يستخدم متوسط قيمة الاستهلاك اليومى للفرد من تجمع مماثل لإمكان تصميم نظام التوزيع الجديد. النظم الجديدة يتم تصميمها لخدمة التجمعات السكنية ومتطلبات المياه المتوقعة خلال من ١٠ سنوات إلى ٣٠ سنة مستقبلاً، بخلاف ذلك يكون النظام صغيراً جداً بعد تمام تنفيذه مباشرة.

التغيرات فى احتياجات المياه :

فى كثير من المجتمعات تتغير احتياجات المياه على أساس موسمى، يومى، وكذلك كل ساعة. فمثلاً، فى اليوم الحار الصيفى إذا كان متوسط الاحتياج اليومى هو ٤٠٠ لتر فى اليوم، عندئذ يمكن تقدير أقصى استهلاك يومى ليكون ٤٠٠ × ٢ = ٨٠٠لتر فى اليوم للفرد. عموماً يجب تصميم خطوط المواسير والطلمبات لشبكة التوزيع وكذلك محطة المعالجة لتحقق أقصى متطلبات يومية وليس متوسط الاحتياجات. أدنى تدفق يتم تصميمه لحوالى ٦٠٠لتر فى اليوم للفرد الواحد.

كذلك فإن استهلاك المياه يتغير كل ساعة خلال اليوم الواحد. طبقاً للتوقعات تكون ساعات ذروة الاحتياجات فى الأحياء السكنية فى ساعات الصباح والمساء، قبل وبعد يوم العمل العادى مباشرة. فى الأحياء التجارية والصناعية يكون استهلاك المياه مرتفعاً خلال اليوم. أدنى تدفقات تكون حوالى الساعة الرابعة صباحاً حيث لا يوجد استخدام للمياه.

المخطط الذى يوضح التغيرات كل ساعة فى استخدامات المياه موضح فى الشكل (٤/١) على هذا المخطط تدفقات ساعة الذروة تكون الساعة السادسة مساءاً. فى الحالات الحادة، يكون أقصى تدفق فى الساعة قد يصل إلى ١٠ أضعاف التدفق المتوسط، ولكن عادة يكون حوالى ٣,٥ ضعف التدفق المتوسط.

تدفقات مياه الحريق :

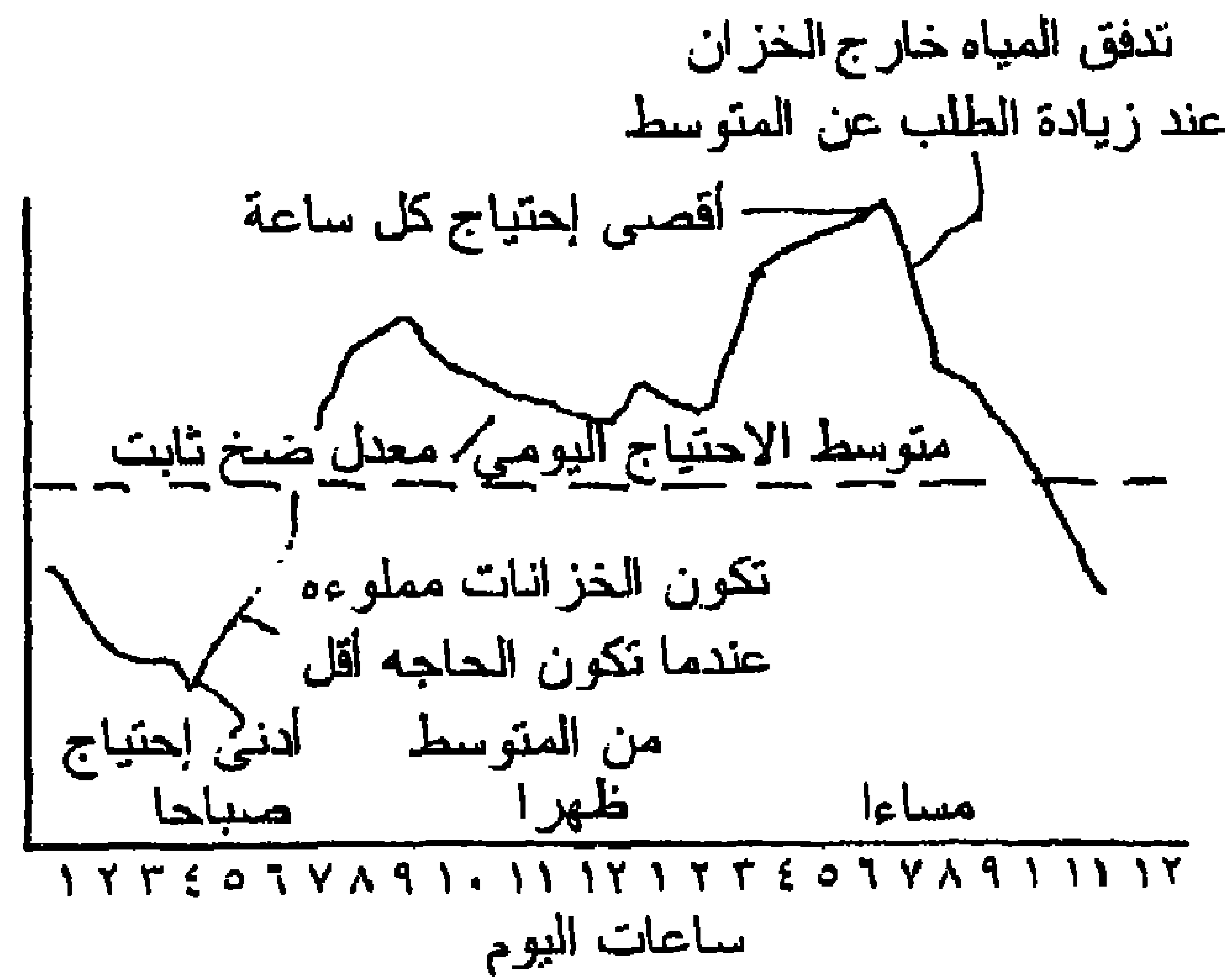
المياه اللازمة لمقاومة الحرائق تعتبر جزءاً هاماً من إجمالى الاحتياجات التى يلزم توفيرها فى نظام توزيع المياه. تدفقات مياه الحريق تكون مطلوبة فقط مرة وإجمالى كمية المياه المستخدمة لإطفاء الحريق فى أى عام تكون صغيرة مقارنة بباقى الاستخدامات. ولكن معدل حجم الماء المطلوب فى ساعات قليلة من حدوث الحريق يمكن أن يكون كبيراً فى مساحة ما. عند أدناه يكون المطلوب من مياه مقاومة الحريق ٣٠ لتر فى الثانية لمدة لا تقل عن ٢ ساعة. فى الحالات الحادة يكون تدفق المياه حتى ٧٦٠ لتر فى الثانية لمدة ١٠ ساعات. مياه مقاومة الحريق المطلوبه تضاف إلى أقصى احتياجات يومية فى النظام عند تقدير أقطار المواسير وإمكانيات الطلمبات.

الضغوط : (Pressures)

ضغوط المياه فى شبكة التوزيع يجب ألا تقل عن ٥٠ رطل/ البوصة المربعة (٣٥٠ كيلوبار) وذلك لتوفير التشغيل المناسب للسباكة المنزلية ومهمات الصحى وكذلك لمقاومة الحريق عند استخدام عربات الحريق المجهزة بالطلمبات عند حنفيات الحريق. أقصى ضغط فى الشبكة يكون ١٠٠ رطل على البوصة المربعة (٧٦٠ كيلوبار) لخفض فرص التسرب أو تلف المواسير. ضغط حوالى ٨٠ رطل على البوصة المربعة (٥٥٠ كيلو بار) يعتبر أقصى ضغط مناسب، يجب إنشاء محابس تنظيم الضغط فى شبكة التوزيع لخفض الضغوط فى المناطق المخدومة المنخفضة وإلا فإن الضغط فى الشبكة سيكون مرتفعاً جداً.

وضع خط المواسير (Pipe Line Layout)

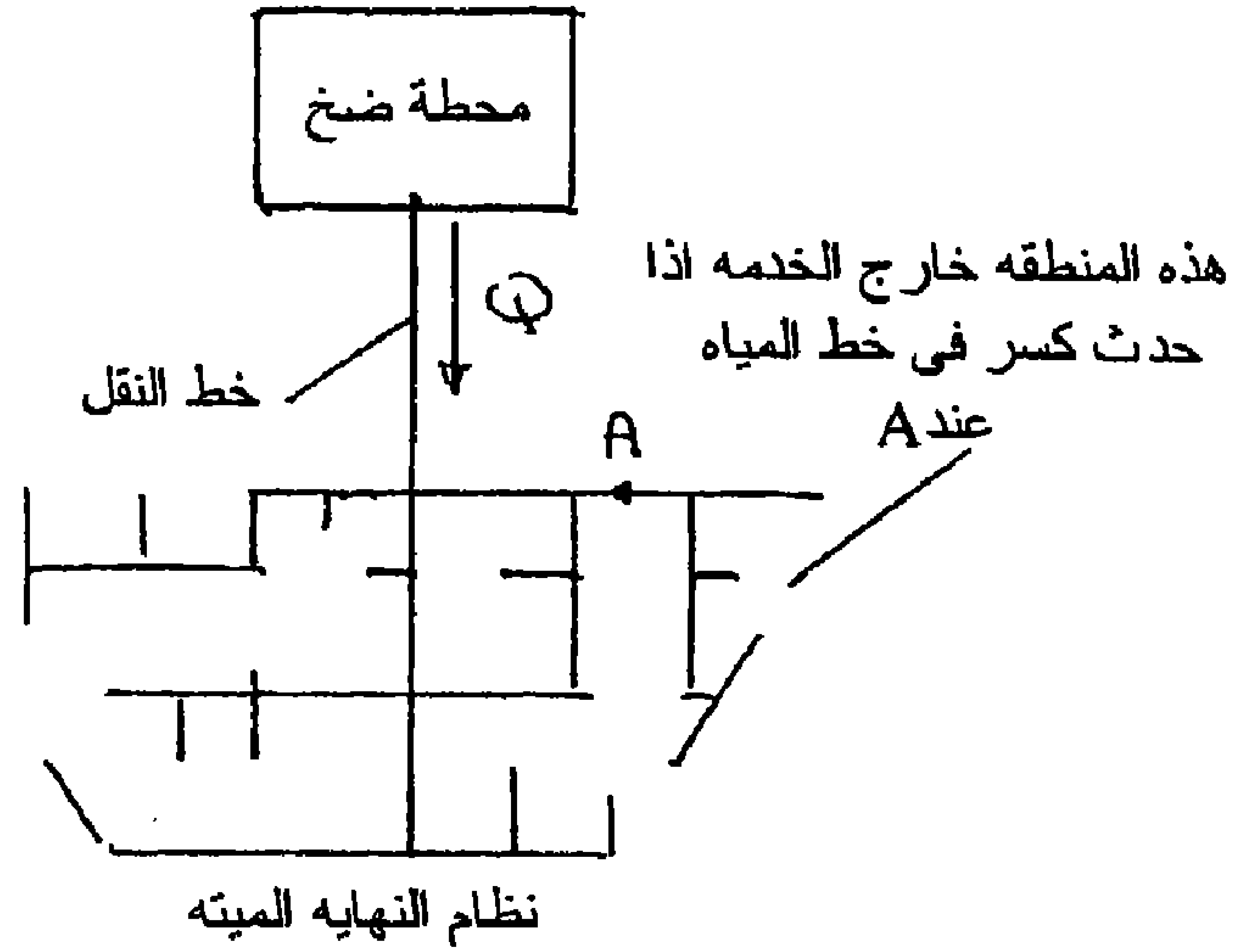
مواسير المياه تكون عموماً بقطر لا يقل عن ٦ بوصة (١٥٠ مليمتر). وهى عادة توضع فى الشارع يمين الطريق لتوفير المياه لكل مسكن. النظام الشبكى (Gridiron) للمواسير يفضل وجود كثير من فرعات النهايات الميتة، فى النظام الشبكى يمكن للمياه أن تدور فى دائرة متقاطعة، ولكن فى نظام النهاية الميتة يمكن للمياه أن تظل راكدة فى مقاطع من الشبكة، بما يسبب مشاكل بالنسبة للمذاق والرائحة الناتجة عن نمو وتكاثر البكتريا . الطريقتان لوضع شبكة التوزيع موضح فى الشكل (٢/).

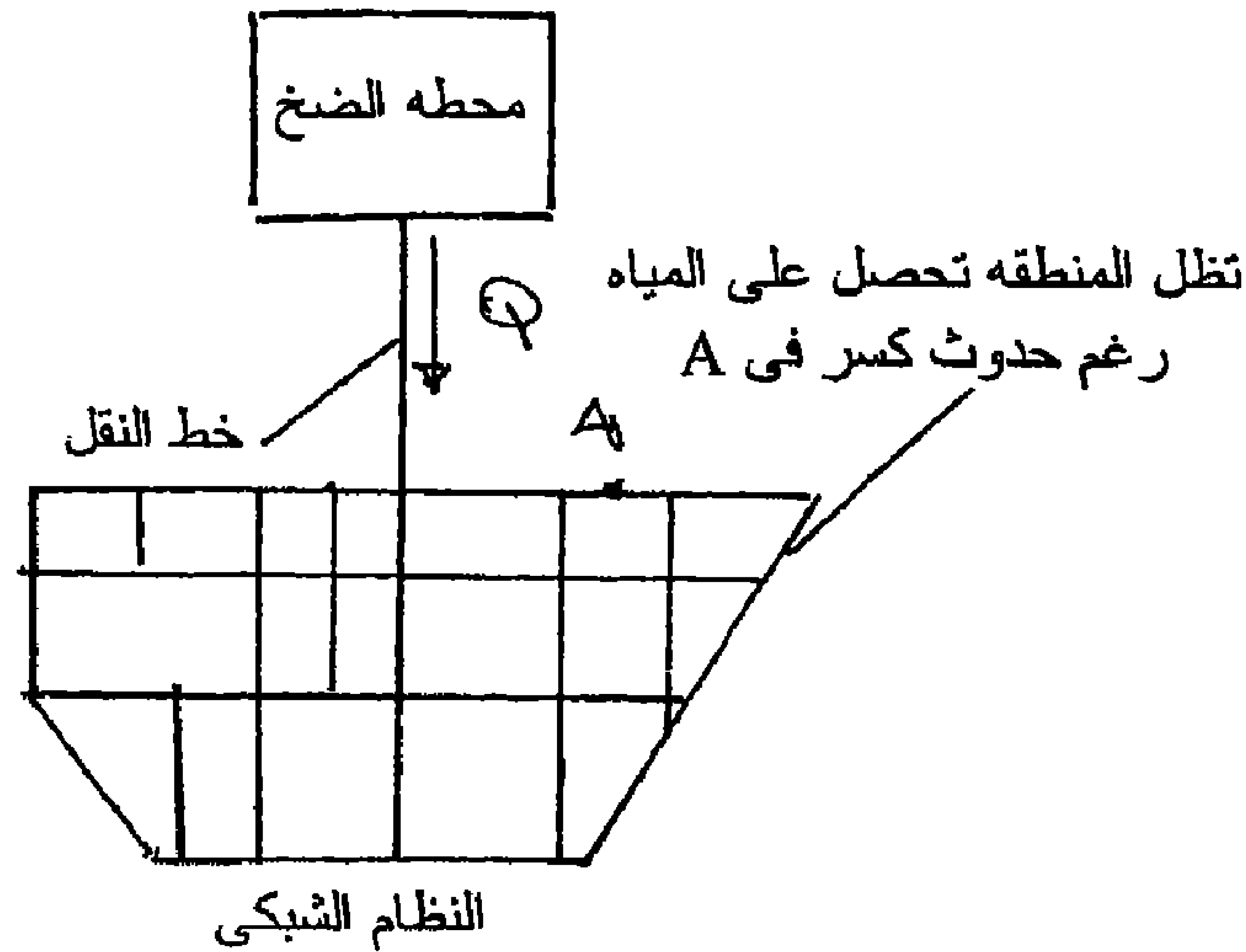


شكل (٤/١) مخطط يبين التغير فى الطلب على المياه

أو استهلاك المياه خلال اليوم

فى حالة وضع النهاية الميتة يكون من الضرورى الدفق من آن لآخر لخطوط المواسير عند محابس الحريق لمنع شكوى المواطنين من الرائحة والمذاق. سلبية أخرى لنظام النهاية الميتة هى أن خدمة المياه يمكن أن يحدث لها اضطراب لفترات زمنية طويلة عند عمل الإصلاح لحالات حدوث تلف أو كسر فى المواسير. ولكن فى النظام الشبكى المقطع الذى حدث به كسر يمكن عزله بالمحابس، ويستمر وصول المياه إلى المستهلكين من الجانب الآخر من الدائرة. معظم شبكات التوزيع تشمل كلا النوعين طبقاً للظروف المحلية والعوامل الاقتصادية.





شكل (٤/٢) النظام الشبكى يفضل لما يوفره من مرونة فى الخدمة والتشغيل.

خطوط مواسير نقل المياه يمكن الإشارة إليها كخطوط نقل المياه من محطة المعالجة إلى شبكة التوزيع، أما خطوط توزيع المياه داخل شبكة التوزيع وهى من مواسير ذات قطر أصغر فهى التى توفر الإمداد اليومى للمساحة المخدومة.

٢- مواسير المياه :

مواسير المياه فى شبكة التوزيع يجب أن تكون قوية وذات قدرة على التحمل لمقاومة القوى الداخلية والخارجية وكذلك مقاومة التآكل. الماسورة تكون معرضة للضغط الداخلى من الماء وللضغط الخارجى من وزن التربة (تربة الردم) وحركة المركبات فوقها، القوة

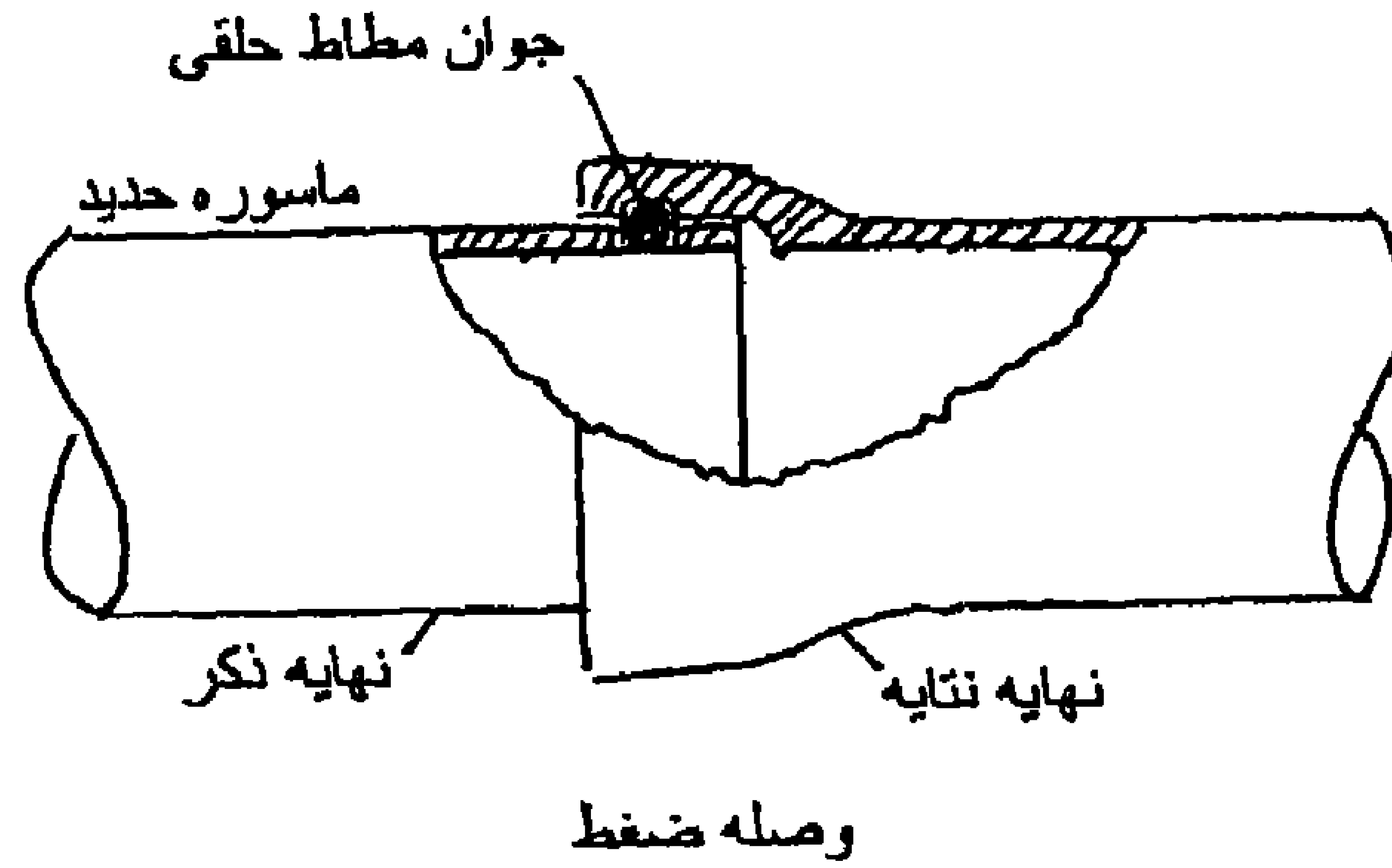
الأخرى التى يجب أن تكون الماسورة قادرة على تحملها وهى المطرقة المائيـــة (Water Hammer). وهذه يمكن أن تحدث عند القفل السريع جداً للمحبس، مسببة موجـــات مـــن الضغط العالى لإحداث الاضطراب داخل الماسورة. وأخيراً مقاومة التلف النـــاتج عـــن التآكل أو الصدأ والذى يمكن أن يحدث داخلياً بسبب نوعية الميـــاه أو خارجيـــاً بـــسبب ظروف وطبيعة التربة. المواد المستخدمة عادة فى صناعة مواسير المياه يجب أن تـــوفر القوة والتحمل كما سيتم مناقشته.

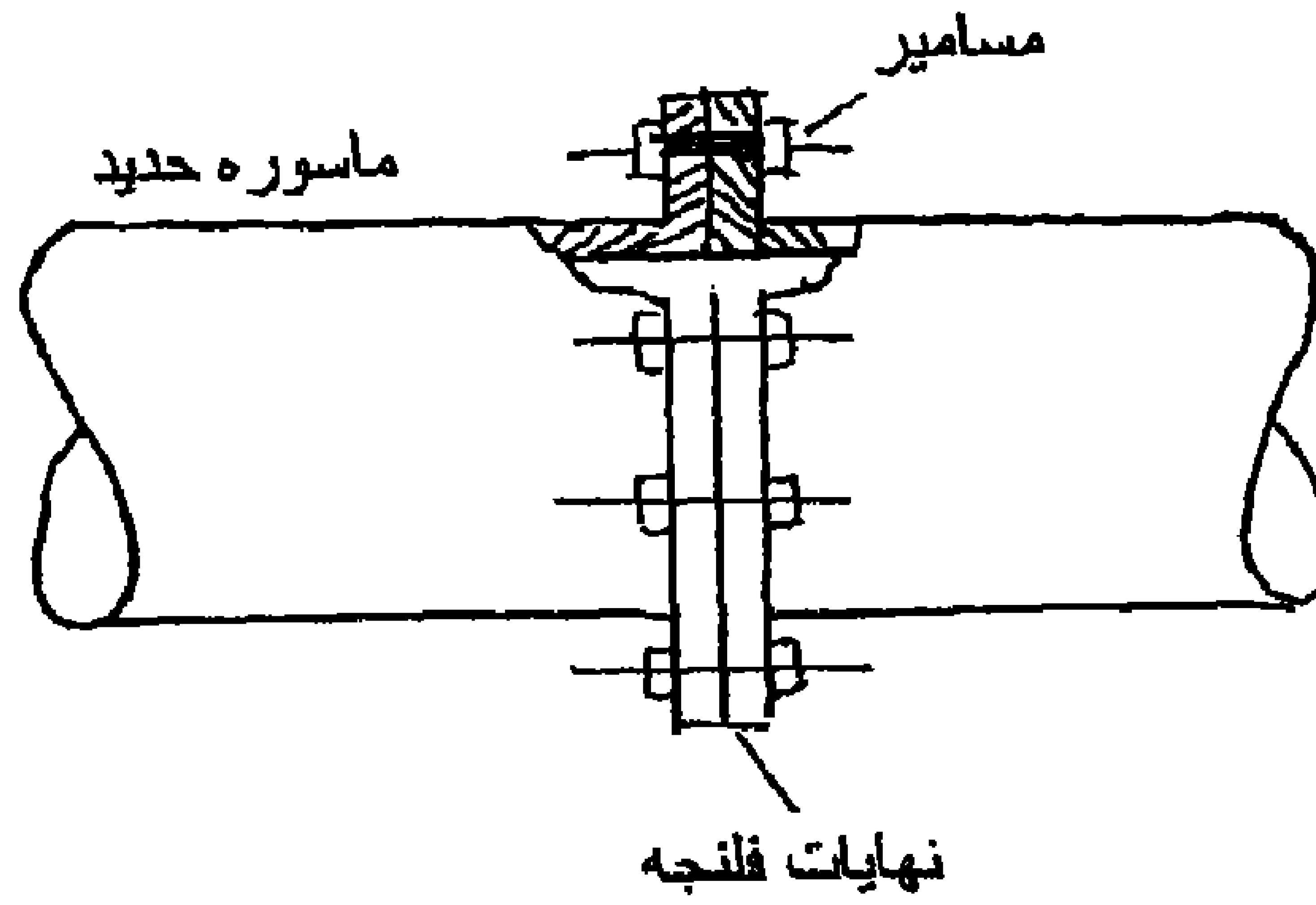
مواسير الزهر المرن (Ductile Iron Pipe)

الزهر المرن هو من المواد المستخدمة على نطاق واسع فـــى صـــناعة المواســـير المستخدمة فى خطوط مواسير شبكة توزيع المياه. بسبب المكونات الكيماوية فإن الزهـــر المرن الأقوى والأكثر مرونة مقارنة بالزهر الرمادى، الذى كان مادة صـــناعة مواســـير حتى منتصف القرن التاسع عشر. حديد الزهر المرن أقل قصافة (Less Brittle) مقارنة بالزهر الرمادى، كما أنه أقل عرضة للتلف أثناء الإنشاء كما أنـــه يعتبـــر أكثـــر مقاومة للتآكل.

مقاطع ماسورة الزهر المرن تتوفر بأطوال حتى ٦متر وبأقطار حتى ٤٨بوصة وهى تصنع بتخانات مختلفة، حيث مواسير الدرجة العليا حيث الجدار أكثر ســـماكاً وتوصـــف للإنشاءات العميقة أو فى حالة ضغوط المياه المرتفعة.

توجد طريقتان لتوصيل المواسير وهى وصلة الدفع (الرأس والذيل) ووصلة الفلنجة، فى وصلة الرأس والذيل (Spigot and Bell) حيث يتم دفع الذيل في الرأس حيـــث يـــتم ضغط حلقة مطاط فى نهاية الرأس عند توصيل مقطعى الماسورتين، بما ينتج عنه وصلة مرنة ولكنها فى نفس الوقت محكمة ضد تسرب المياه. وصلات الفلنجات تشمل توصـــيل نهايات المواسير معاً بمسامير الرباط وهذه تستخدم فى حالة الإنشاءات فوق سطح الأرض في محطات المعالجة أو محطات الطلمبات. كلا من التوصيل بالدفع والحلقـــة المطـــاط والتوصيل بالفلنجة موضح فى الشكل (٤/٣).





شكل (٤/٣) طريقتان لتوصيل مقاطع من مواسير الحديد

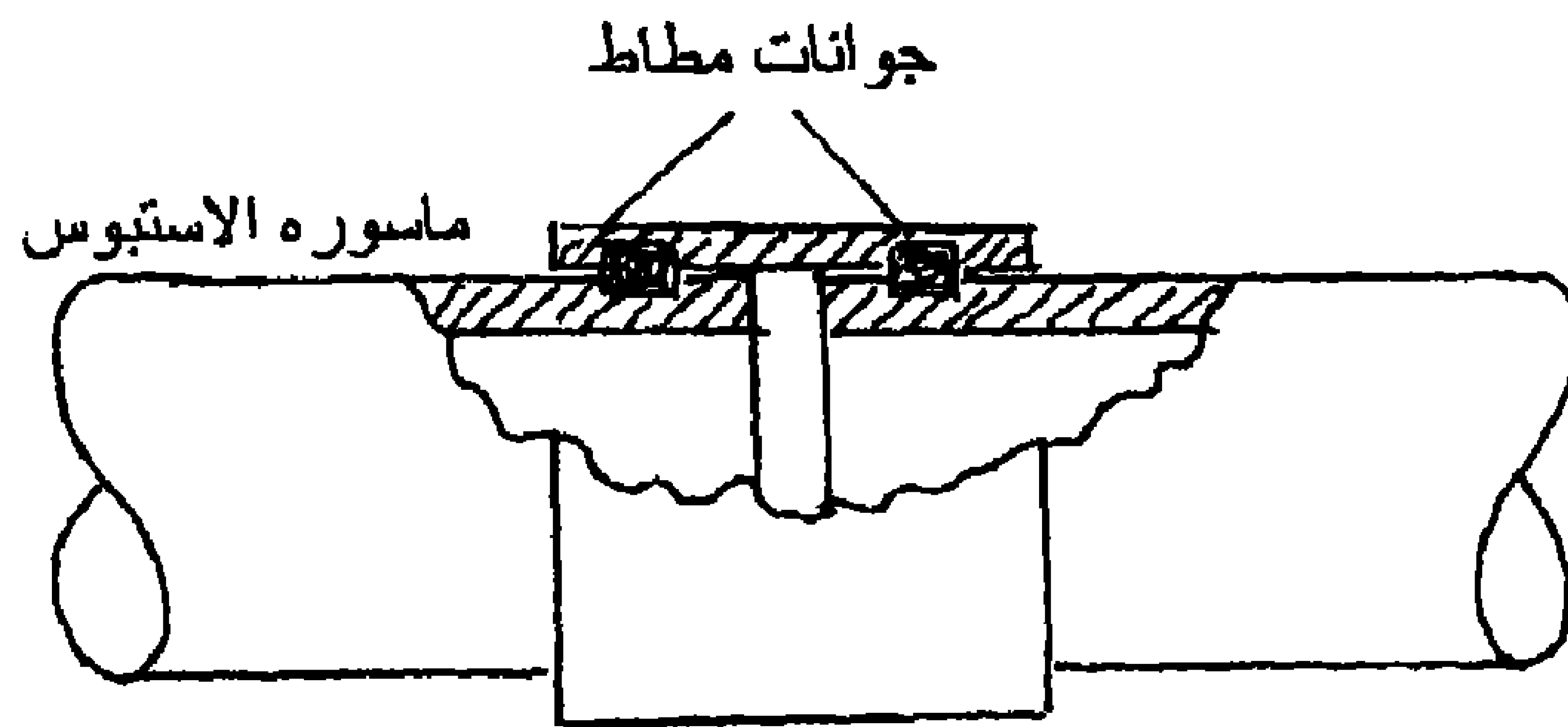
مواسير الحديد التى لا يتم حمايتها تكون معرضه لعملية تسمى (Tuberculation) أى تكون الدرنات – حيث تكون الدرنات أو البروزات الصغيرة من الصدأ على الجدار الداخلى للماسورة. هذه الدرنات تزيد من مقاومة التدفق، تقلل من طاقة الماسورة، وتزيد من الفقد فى الضغط فى الشبكة. المواسير الحديدية عادة يتم تبطينها بطبقة رقيقة من المونة الأسمنتية لتغطية السطح الداخلى لمنع تكون هذه الترسيبات أو الدرنات وللمحافظة على الطاقة الهيدروليكية للماسورة. كذلك يستخدم القار لتغطية السطح الخارجى للماسورة لحمايتها من التآكل (معامل C لهازن ولیام يصل إلى ١٤٥ للماسورة المبطنة بالأسمنت).

مواسير الأسبستوس الأسمنتى :

الخليط المدمج من الرمل والأسمنت وشعيرات الأسبتسوس يوفر مادة للماسورة خفيفة الوزن وناعمة ومقاومة للتآكل. رغم أنها ليست قوية مثل ماسورة الحديد، فإن عدم حدوث

تآكل وترسيبات وكذلك سهولة الإنشاء جعل ماسورة الأسبستوس مطلوبة فى كثير من الإنشاءات.

ماسورة الأسبستوس لها خواص هيدروليكية وطاقة تحميل عالية (C = 140) وهى تصنع بأطوال حتى ٤ أمتار وبأقطار حتى ١٦ بوصة، وبدرجات مختلفة من ضغط الاختبار حتى ٢٠٠ رطل على البوصة المربعة (١٤٠٠ كيلوبار). النهايات المستوية لماسورة الأبسستوس يسهل توصيلها باستخدام وصلة منيانى (Coupling Sleeve) كما هو موضح فى الشكل (٤/٤) . حلقتان المطاط فى الوصلة توفران وصلة مرنة محكمة ضد تسرب المياه.



شكل (٤/٤) ماسورة الأسبستوس الأسمنتى يتم توصيلها بواسطة الوصلة المنيانى وحلقتان من المطاط.

رغم أن الأسبستوس معروف أنه مسرطن عند استنشاقه وخاصة بين المدخنين، إلا أنه لا توجد دلائل للعلاقة بين ابتلاع الأسبستوس وأى أمراض أخرى. ولكن الصناع معرضون لبدائل الأسبستوس مثل شعيرات الكربون، وشعيرات البلاستيك، المواد المعدنية. مياه الشرب الآمنة تسمح بوجود ٧ آلاف شعيرة أسبستوس في اللتر بينما الأسبستوس المحمول فى الهواء يكون فى حدود ١٠٠ شعيرة فى اللتر. وعموماً فقد قامت مصر بإيقاف إنتاج مواسير الأسبستوس تفاديا لما قد يسببه من مخاطر على الصحة العامة.

مواسير البلاستيك :

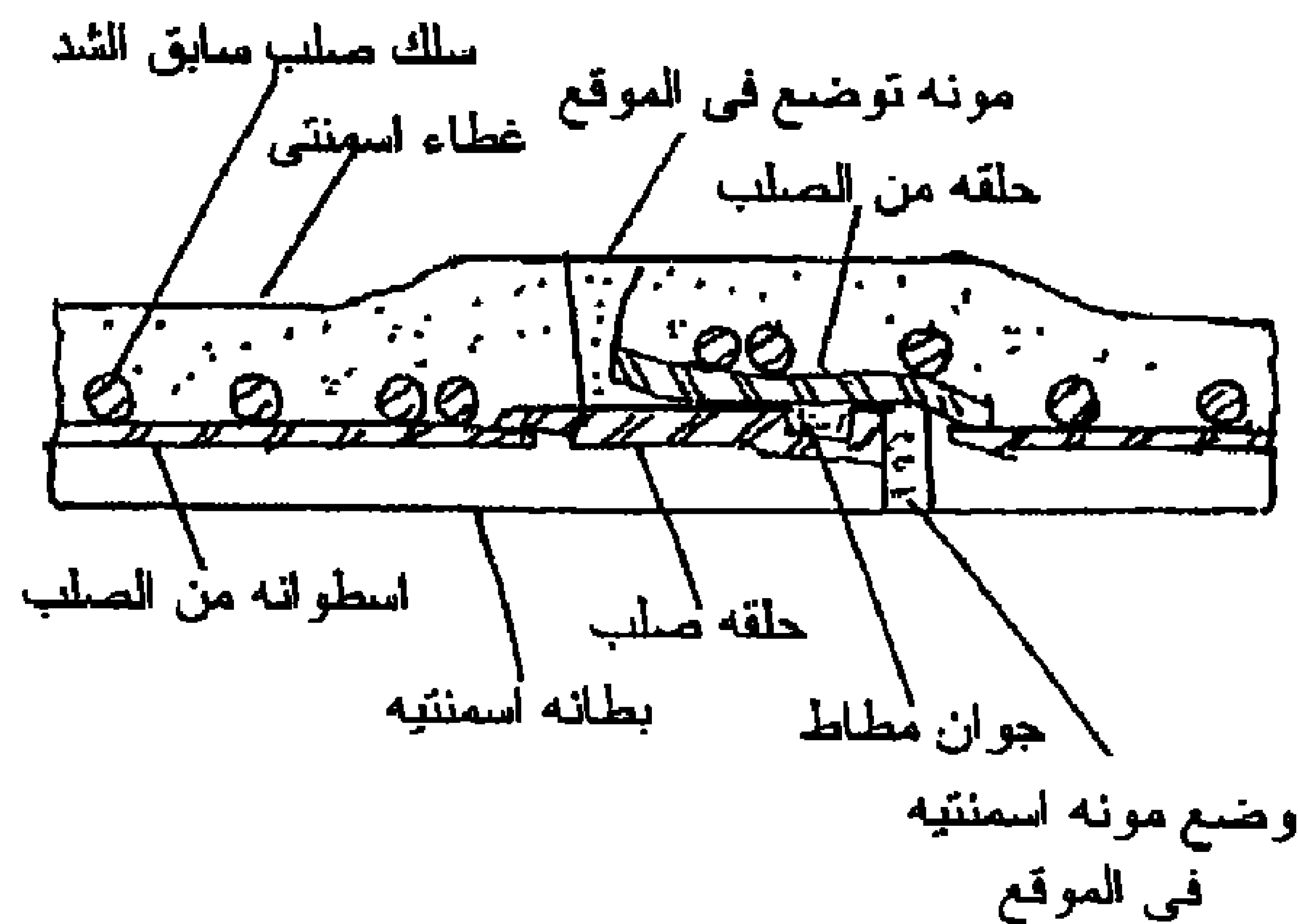
أحياناً تستخدم ماسورة البولى فينيل كلوريد فى شبكة توزيع المياه وهذه الماسورة قوية ولها قدرة تحمل بالإضافة إلى خفة الوزن وسهولة التداول. والإنشاء. الماسورة البلاستيك مقاومة للتآكل وهى شديدة النعومة بما يوفر خواص هيدروليكية جيدة (حيث C

150 =) وهى متاحة بأقطار حتى ٢٤ بوصة يتم توصيل الماسورة بوصلة الضغط بـين الرأس والذيل مع استخدام حلقة مطاط لإحكام التوصيل ومنـع نفاذيـة الميـاه وتحقيـق المرونة.

أنواع أخرى من مواد الصنع لمواسير البلاستيك تشمل مواسـير البـولى إيثيلـين، ومواسير البولى بروبيلين وكذلك مواسير من مادة (Acrylonitrile Butadiene Styrene) ABS . هذه المواسير يمكن توصيلها باستخدام الجلبـة والقـلاووظ أو اللحـام بالمـذيب الكيماوى.

مواد أخرى للمواسير : (Other Pipe Materials)

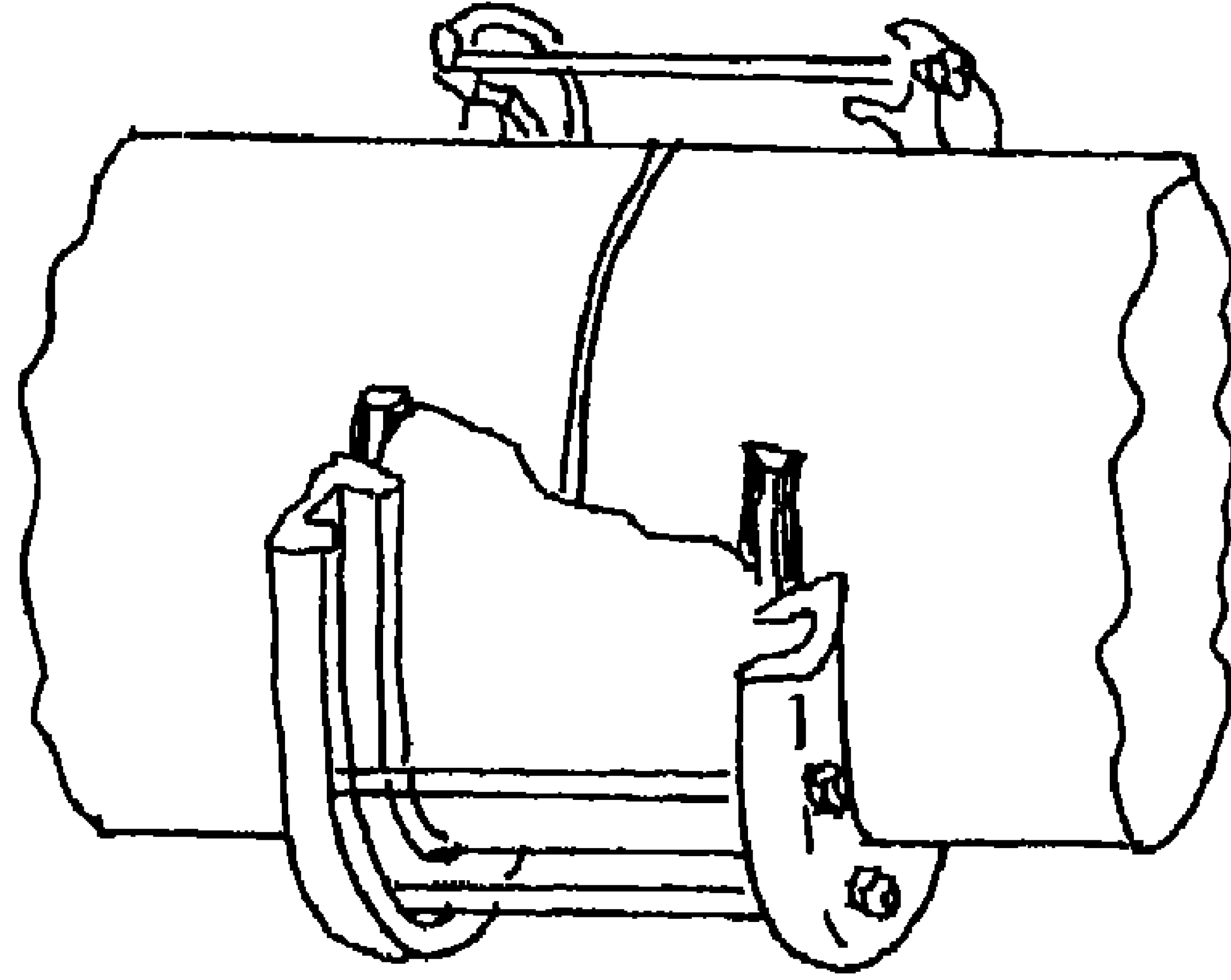
المواسير الخرسانية المسلحة تصنع من أسطوانات ملحومة من الصلب ملفوفة بأسلاك من الصلب ومغطاة من الداخل والخارج بالخرسانة. وهذه الماسورة تستخدم أساساً فـى خطوط نقل المياه الطويلة وذات قطر كبير. وهذه يمكن تصنيعها بأطوال حتـى ٥ متـر وبأقطار حتى ٦ متر. الماسورة قوية جداً ولها قدرة تحمل كبيرة كمـا أن لهـا خـواص هيدروليكية ممتازة. المواسير يمكن توصيلها باستخدام الوصلة المطورة للـرأس والـذيل بالمونة الأسمنتية كما هو موضح فى الشكل (٥/٤).



شكل (٥/٤) مقطع فى وصلة المواسير الخرسانية سابقة الإجهاد

أحيانا تستخدم ماسورة الصلب فى خطوط نقل المياه وخاصة للإنشاءات فوق سـطح الأرض، وهى شديدة القوة كما أنها أخف فى الوزن مقارنة بماسورة الخرسانة المـسلحة. ولكن يجب العمل على حمايتها جيداً ضد التآكل، حيث يتم ذلك عـادة بتبطـين الـسطح الداخلى وكذلك طلاء وتغطية السطح الخارجى بلفائف من البلاستيك أو الخـيش المـشبع

بالقطران أو الكولتار. يمكن توصيل مواسير الصلب باللحام أو بتجهيزات الوصلة الميكانيكية كما هو موضح فى الشكل (٤/٦).



شكل (٤/٦) الوصلة الميكانيكية المستخدمة لتوصيل المواسير الصلب

الملاحق : (Appurtenances)

الأداء الجيد لشبكة التوزيع يتطلب تجهيزات مختلفة بالإضافة إلى المواسير، هذه التجهيزات التى تسمى الملاحق تشمل محابس قفل، حنفيات حريق، محابس خفض الضغط، ووصلات أخرى.

حنفيات الحريق (Hydrants)

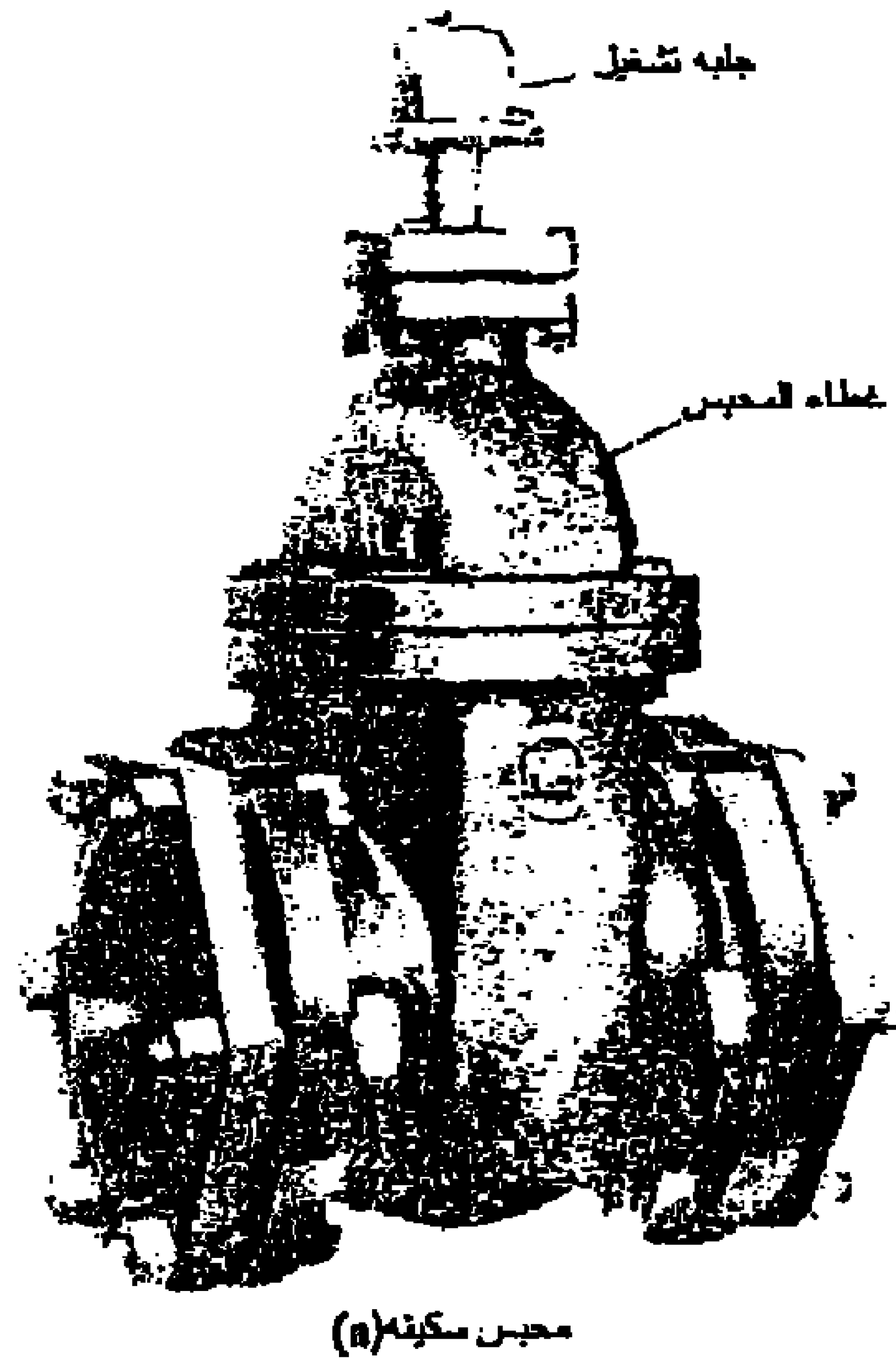
الغرض الرئيسى من حنفيات الحريق هو توفير المياه فى المكان المناسب لمقاومة الحريق وكذلك لأى ظروف طارئة أخرى. حنفية الحريق تعمل كذلك لدفق المياه لغسيل المواسير، وكذلك لاختبار الضغط للمواسير تحت سطح الأرض. الفواصل وأماكن حنفيات الحريق تتوقف أساساً على الحماية من الحريق ومتطلبات التأمين، كذلك توضع حنفيات الحريق عند النهايات الميتة وعند النقط المرتفعة والنقط المنخفضة فى خط المواسير.

الذراع الطويل لتشغيل المحبس داخل أسطوانة من الحديد الزهر لحنفية الحريق يقوم بقفل المحبس عند قاعدته، محبس آخر فى الماسورة لتوصيل حنفية الحريق لخزان المياه يسمح بعزل الحنفية للصيانة.

ماسورة التوصيل تكون عادة بقطر ٦ بوصة، وحنفية الحريق لها وصلتين للخراطيم فى أعلاها، توجد طبقة من الزلط فى قاع الأسطوانة الحديدية (البرميل) لا لإمكان الصرف من البرميل بعد استخدام الحنفية، وهذا هام تحديداً فى المناخ البارد حيث يمكن أن تتجمد المياه وتتلف أسطوانة حنفية الحريق.

المحابس (Valves)

يستخدم كثير من أنواع المحابس فى شبكة توزيع المياه للتحكم فى كمية واتجاه التدفق. كثير من هذه يمكن فتحه أو قفله يدويا أو بواسطة أعمدة ملولية أو تجهيزة تروس. المحابس الضخمة عادة تعمل باستخدام نظم كهربية أو هيدروليكية المهمة العادية للمحابس هى للقفل الكامل للتدفق. محابس القفل (السكينة) تستخدم لهذا الغرض. هذه المحابس توضع خلال شبكة التوزيع، بما يسمح بعزل مقاطع من خطوط المواسير أثناء الإصلاح لمواسير تالفة أو طلمبات أو حنفيات حريق. يتكون محبس القفل أساساً من قرص منزلق الذى سيتحرك عبر ممر التدفق بواسطة عامود يعمل بواسطة القلاووظ (اللولب). عندما يكون المحبس فى الوضع المفتوح يكون القرص مغلق ومحصوراً فى غطاء المحبس أو الغلاف فوق الماسورة ويكون خارج مسار التدفق تماماً. فى الوضع المقفل، يتم خفض القرص ويتم إحكام دائرة القرص فى منيم المحبس، وبهذا يحدث انسداد لمسار التدفق. نموذج لمحبس القفل موضح فى الشكل (٧/٤-أ).



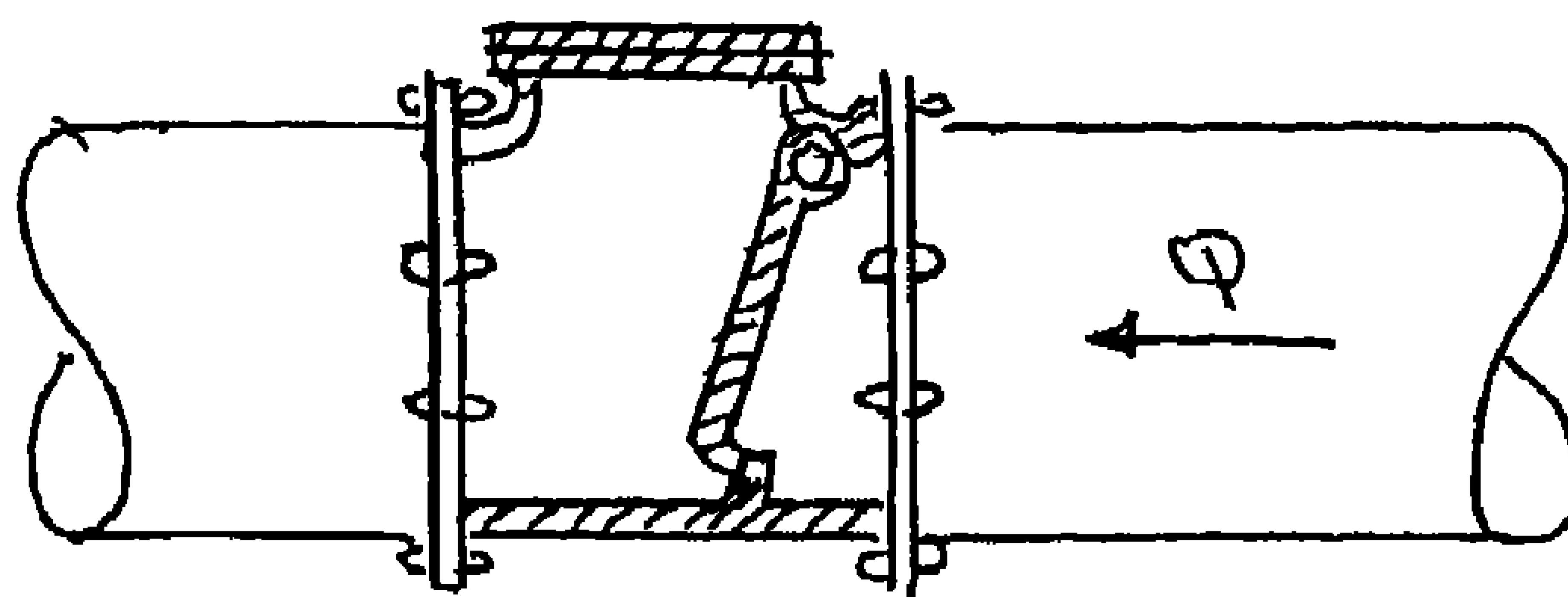


شكل (٧/٤) محبس قفل

محابس القفل تكون إما فى الوضع التام القفل أو فى الوضع التام الفتح وهى نادراً ما تستخدم كصمام خانق (Throttling) لخنق التدفق بقفله جزئياً. فى معظم شبكات التوزيع توضع محابس القفل عند تقاطعات المواسير وتعمل يدويا باستخدام عامود تشغيل ليصل إلى جلبة التشغيل على المحبس، صناديق الحديد الزهر للمحبس والتى تمتد من المحبس إلى أعلى حتى الغطاء عند سطح الشارع وحماية المحبس أسفل سطح الأرض. محابس القفل الضخمة يمكن وضعها فى غرفة تحت سطح الأرض لسهولة الوصول والتشغيل.

المحبس المستخدم فى خنق التدفق للتحكم فى معدل التدفق هو محبس الفراشة. فى محبس الفراشة القرص المتحرك يدور على محور فى مسار التدفق. فى الوضع المقفل يكون القرص محكم الالتصاق على حلقة مطاط فى غلافه الخارجي (Casing) . فى الوضع المفتوح يدور القرص ٩٠°، بما يسمح للماء بالتدفق حوله ومن خلاله. حقيقة أن القرص يكون دائماً فى التدفق هو عيب لمحبس الفراشة ذلك يوقف استخدام أدوات نظافة الماسورة. بسبب قوة تدفق المياه فإن المياه تميل إلى قفل المحبس، تستخدم تروس الخفض بإمكانيات التشغيل اليدوى، كما تستخدم إمكانيات استخدام الطاقة فى حالة محابس الفراشة الضخمة، نموذج لمحبس الفراشة موضح فى الشكل (٤/٧-ب).

محبس عدم الرجوع (Check Valve) وهو يستخدم ليسمح بالتدفق فى اتجاه واحد فقط فى الماسورة، فهو يقفل آلياً عند توقف التدفق أو أن يميل للتدفق فى الاتجاه العكسى، النوع العادى يسمى المتأرجح (Swing Valve) موضح فى الشكل (٤/٨) قرص المحبس يرتفع إلى أعلا بقوة تدفق المياه ويقفل بفعل الجاذبية عند توقف التدفق. منيم المحبس يمنع القرص من التأرجح مفتوحاً فى الاتجاه العكسى.



شكل (٤/٨) محبس عدم الرجوع المتأرجح

عادة توضع محابس عدم الرجوع فى وصلة مواسير الصرف للطلمبة لمنع التدفق العكسى عند توقف الطلمبة. وهى تسمى أحياناً محابس قدم (Foot Valves) عند وضعها

عند نهاية ماسورة السحب لطلمبة الرفع فى البئر أو خزان المياه. محابس القدم تمنع الفقد فى التحضير فى طلمبات الطرد المركزى. فى نظم السباكة يمكن استخدام محابس عدم رجوع مزدوجة خاصة لمنع حدوث التدفق العكسى واحتمال التلوث لإمدادات مياه الشرب عند وجود تقاطع مع نظام آخر.

أنواع أخرى من المحابس التى تستخدم فى شبكات التوزيع تشمل محابس خفض الضغط، محابس تصريف الهواء، ومحابس الارتفاع (Altitude Valve). محابس خفض الضغط تعمل آلياً لخفض الضغط الهيدروستاتيكى فى خطوط المواسير التى تكون عند ارتفاع منخفض فى الشبكة، هذه المحابس تكون مناطق ضغط أو شبكات مستقلة فى شبكة التوزيع الضخمة.

خطوط المواسير عادة تسير طبقاً للشكل الطبوغرافى للأرض. انه ليس من غير العادى وجود جيوب هواء عند النقط المرتفعة لخط المواسير. جيوب الهواء هذه تقلل من طاقة التدفق وتزيد من الفقد فى الضغط. توضع محابس تصريف الهواء فى خط المواسير عند أقصى صرف آلى للهواء المحتجز فى الخط.

من المهمات الأخرى المستخدمة محبس الارتفاع (altitude) وهو تجهيزة آلية التى تتحكم فى التدفق إلى خزان المياه المرتفع فهو يقفل عند امتلاء الخزان، بما يمنع حدوث التدفق الزائد عن طاقة الخزان. عندما تكون هناك حاجة للماء من الخزان يتم استشعار الضغط الذى انخفض فى مواسير التوزيع بواسطة آلية المحبس حيث يفتح المحبس ليسمح بالتدفق خارج الخزان. فى الوقع فإن الماء فى الخزان يطفو فوق الماء فى المواسير ويتدفق بحرية فى أو خارج الخزان، طبقاً لفرق الضغط، هيدروليكياً الخزان المرتفع سيتم مناقشتها فى هذا الفصل.

الإنشاء : (Installation)

خطوط مواسير المياه يجب إن تنشأ على العمق الكافى تحت سطح الأرض لتوفير الحماية ضد حركة المرور ولمنع حدوث تجمد للمياه فى حالة المناطق الباردة. عموما هذا العمق يتراوح ما بين ١-٢متر (٣-٦قدم). وحيث أن تدفق المياه يتم تحت الضغط بدلاً من الجاذبية، فإن مسار خطوط المسار يمكن أن يكون مسايرا للشكل الطبوغرافى للأرض.

توجد طرق عديدة لوضع المواسير فى الخندق المحفور لتوفير قوة إضافية وحماية. طرق التأسيس المختلفة للمواسير موضح فى الشكل (٤/٩). مادة الردم التى توضع فوق الماسورة يلزم دمكها فى طبقات حول استدارة الماسورة بما تزيد من قوة تحمل الماسورة وتقلل من فرص حدوث كسر أو تلفيات. نوع حالة التأسيس يتوقف على عمق الخندق وسمك جدار الماسورة.

خطوط مواسير المياه لا يتم إنشاءها فى نفس الخندق مع خطوط مواسير الصرف الصحى. عموما فإنها يجب أن تكون بعيدة عن خط المواسير بما لا يقل عن ٣متر أفقيا، كما يجب أن تكون أعلى من خط الصرف الصحي بما لا يقل عن ٠,٥متر عند عبورها.

الوصف	حالة التأسيس
خندق بالقاع المستوى الردم من تربة مفككة	١
قاع خندق مستوى .الردم متماسك قليلا حتى خط المنتصف للماسورة	٢
الماسورة توضع فى مالا يقل عن ٤ بوصة من التربه المفككه. الردم يكون متماسكا قليلا حتى أعلى الماسوره	٣
الماسورة توضع فى الرمل أو الزلط أو القطع الحجريه إلى عمق ١/٨ قطر الماسورة بحد أدنى ٤ بوصة . الردم مدموك حتى قمة الماسورة	٤

المـاسورة موضوعه في مادة حبيبية مدموكة حتى خط المنتصف للماسورة . حبيبات مدموكة أوتربة حتى قمة الماسورة	ه

* بالنسبة للمواسير بقطر ٣٠ بوصة فأكثر تستخدم طرق تأسيس خلاف ما فى الحالة (١).
* القاع المستوى هو التربة التى لم يتم حرثها.
* التربة المفككة هى التربة المحلية من الحفر الحالية من الصخور والمواد الغريبة.

شكل (٤/٩) الطريقة القياسية لحالات تأسيس ماسورة الزهر المرن

اختبار الضغط :

مهما كانت طريقة إنشاء خط المواسير فإنه سوف يكون هناك تسرب عند الوصلات. يقبل التسرب فى حدود معينة، مواصفات الإنشاء يجب أن تحدد أقصى معدل مسموح به للتسرب. المعادلة العامة المستخدمة لهذا الغرض هى كالآتى :

$$Q_L = \frac{N \times D \times P\frac{1}{2}}{C}$$

حيث :

Q_L = التسرب المسموح به لتر/الساعة (جالون/ الساعة).

N = عدد الوصلات فى طول خط المواسير المختبر.

D = قطر الماسورة مليمتر (بوصة).

C = ثابت يتوقف على وحدات مستخدمة.

للوحدات المترية C = ٣٢٦٠٠

للوحدات الأمريكية C = ١٨٥٠

اختبار الضغط أو التسرب يتم تنفيذه على خط مواسير منشأ حديثًا وذلك بملء الخط بالماء واستمرار الضغط بمعدل ١٥٠ رطل/البوصة المربعة (١٠٠٠ كيلو بار) لمدة ساعة. فى حالة حدوث تسرب زائد، فإنه يجب ضخ كمية من الماء أكبر من Q_L فى الخط

للمحافظة على الضغط، يكون من الضرورى عمل الإصلاحات قبل قبول دخول خط المواسير فى الخدمة.

مثال :

خط مواسير منشأ حديثا بطول ٣٠٠متر وبقطر ٣٠٥ مليمتر تم اختباره بالضغط للتسرب، لوحظ أنه أثناء الاختبار لمدة ساعة زمنية، تم ضخ حجم من المياه يعادل ١٠لتر لاستمرار الضغط المطلوب عند ١٠٠٠ كيلو بار. طول المواسير هو ٦متر بين الوصلات. هل التسرب المسموح به زاد عن المعدل.

الحل :

أولا : أحسب عدد الوصلات فى خط المواسير بطول ٣٠٠متر كالآتى :

$$N = \frac{\text{٣٠٠ متر}}{\text{٦ متر}} = \text{٥٠ وصلة}$$

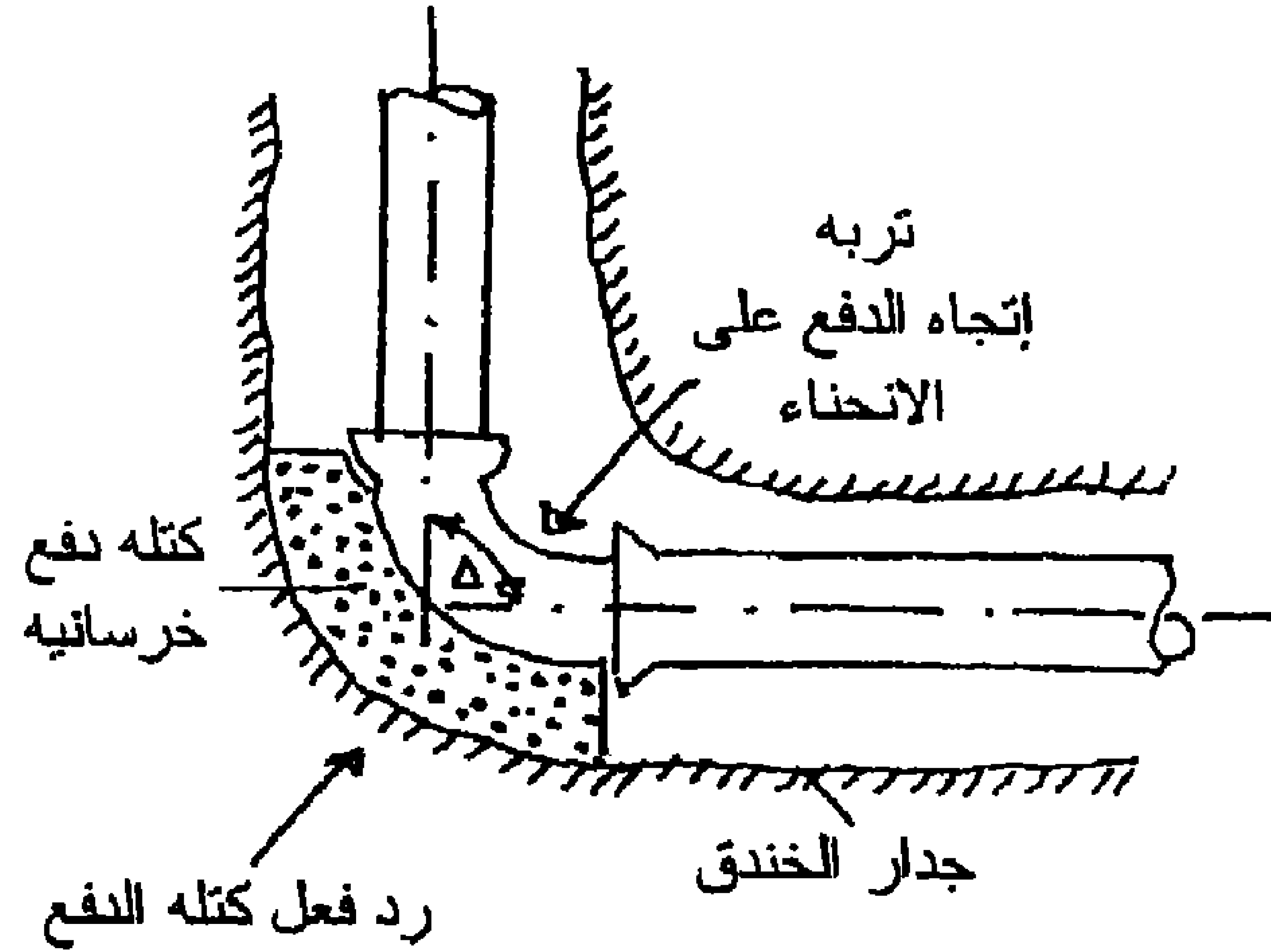
يتم تطبيق المعادلة :

$$Q_L = \frac{\tfrac{1}{2}\,(\text{١٠٠٠}) \times \text{٣٠٥} \times \text{٥٠}}{\text{٣٢٦}} = \text{١٥ لتر/ساعة}$$

حيث أن التسرب الذى تم ملاحظته ١٠ لتر/ الساعة هو أقل من التسرب المسموح به الذى تم حسابه ١٥ لتر/ الساعة لذلك فإن خط المواسير يكون محكم ضد التسرب بما فيه الكافية.

كتل الدفع : (Thrust Blocks)

يكون من الضرورى عادة تثبيت خط المواسير بطريقة آمنة فى الخندق عند النهايات الميتة والانحناءات أو عند التغير فى الاتجاهات الأفقية أو الرأسية، ذلك بسبب القوة أو الدفع الذى يسببه الضغط الداخلى والطاقة الحركية للتدفق، والتى تميل إلى تحريك الماسورة أو الوصلات. مثل هذه الحركة يمكن أن تتلف الوصلات وتسبب تسربا شديداً. أحد الطرق لتوفير التثبيت الضرورى هو باستخدام كتلة الدفع الخرسانية كما هو موضح فى الشكل (٤/١٠).



شكل (٤/١٠) تستخدم كتلة الدفع لارتكاز خط الأنابيب ولمنع حدوث حركة أو احتمال تفكك وصلة الانحناءات.

فى معظم الحالات، الضغط الداخلى يسبب معظم الدفع، الدفع الديناميكى بسبب سرعة التدفق يمكن إهماله. بالنسبة لانحناء فى خط المواسير، يمكن حساب الدفع الناتج عن الضغط الأستاتيكى من المعادلة الآتية :

$$F = 2 \times P \times A \times \sin(\Delta/2)$$

حيث : F = قوة الدفع كيلو نيوتين (رطل)

P = ضغط الماء كيلو بار (رطل/ البوصة المربعة).

A = مساحة مقطع الماسورة متر مربع (بوصة مربعة).

Δ = التغير فى الاتجاه للماسورة بالدرجات.

مثال :

ماسورة بقطر ١٨ بوصة تحمل المياه تحت ضغط ٨٠ رطل على البوصة المربعة، احسب الدفع الاستاتيكى لانحناء ٩٠° فى الماسورة، واحسب مساحة التحمل المطلوبة لكتلة الدفع الخرسانية إذا كانت التربة يمكن أن تتحمل إجهاد ضغط (Bearing Stress) – حتى ٣٠٠٠ رطل/ القدم المربع.

الحل :

أولا : أحسب مساحة مقطع الماسورة.

$$A = \frac{\pi D^2}{٤} = \pi \times \frac{١٨^٢}{٤٠} = ٢٥٤ \text{ بوصة مربعة}$$

والآن استخدم المعادلة

$$F = 2 \times P \times A \times \sin(\Delta/2)$$

∴ F = ٢ × ٢٥٤ × ٨٠ × جا ٩٠ ÷ ٢

= ٢ × ٢٥٤ × ٨٠ × ٠,٧٠٧ = ٣٠٠٠٠ رطل.

إذا كانت التربة يمكنها أن تتحمل ٣٠٠٠ رطل/ القدم المربع، عندئذ فإن المساحة المطلوبة لكتلة الدفع لنشر القوة خارج التربة الحاملة هى ٣٠٠٠٠ رطل ÷ ٣٠٠٠ رطل/ البوصة المربعة = ١٠ قدم مربع.

التطهير : (Disinfection)

خطوط المواسير الجديدة التى تم إنشاءها يلزم دفقها بالماء للنظافة والتطهير قبل وضعها فى الخدمة. سرعة الدفق حوالى ١ متر فى الثانية (٣قدم فى الثانية) تعتبر كافية لإزالة المخلفات وخلافه التى قد تكون متراكمة فى الماسورة أثناء الإنشاء. يتم تطهير المواسير لقتل الكائنات البكترية بملء الماسورة بمحلول مركز نسبياً من الكلور لفترة زمنية معينة (٥٠ ملجرام/لتر/ لمدة ٣ ساعات) يتم دفق المياه للغسيل قبل استخدام الخط.

الإصلاح : (Rehabiliation)

استخدام المواد المناسبة وطرق الإنشاء الصحيحة لا يضمن حدوث مشاكل فى التشغيل لخطوط المواسير لمدة زمنية غير محددة. التلف والكسر فى خط المواسير والتسرب يحدث من آن إلى آخر لأسباب عديدة، حيث يلزم عمل الإصلاحات للتلفيات الطارئة، معظم مرافق المياه لديها خطة عمل للتعامل مع هذه الظروف الطارئة ولديها قطع الغيار والأدوات والمعدات الجاهزة للاستخدام.

التسرب الذى يصعب ملاحظته سريعاً من النقط الرطبة أو (Sunken) فى الشارع يمكن تحديدها سريعاً باستخدام قضبان التصنت (Rods of Sounding) التى تقوم بالتكبير الإلكترونى لصوت تسرب المياه. التسرب الصغير نسبياً يمكن إصلاحه بدون توقف ضغط الماء. وهذا لا يحقق فقط استمرار الضخ للمستهلكين ولكن كذلك يمنع حدوث تلوث للشبكة بتسرب المياه الملوثة الجوفية داخل خط المواسير عند توقف الضخ.

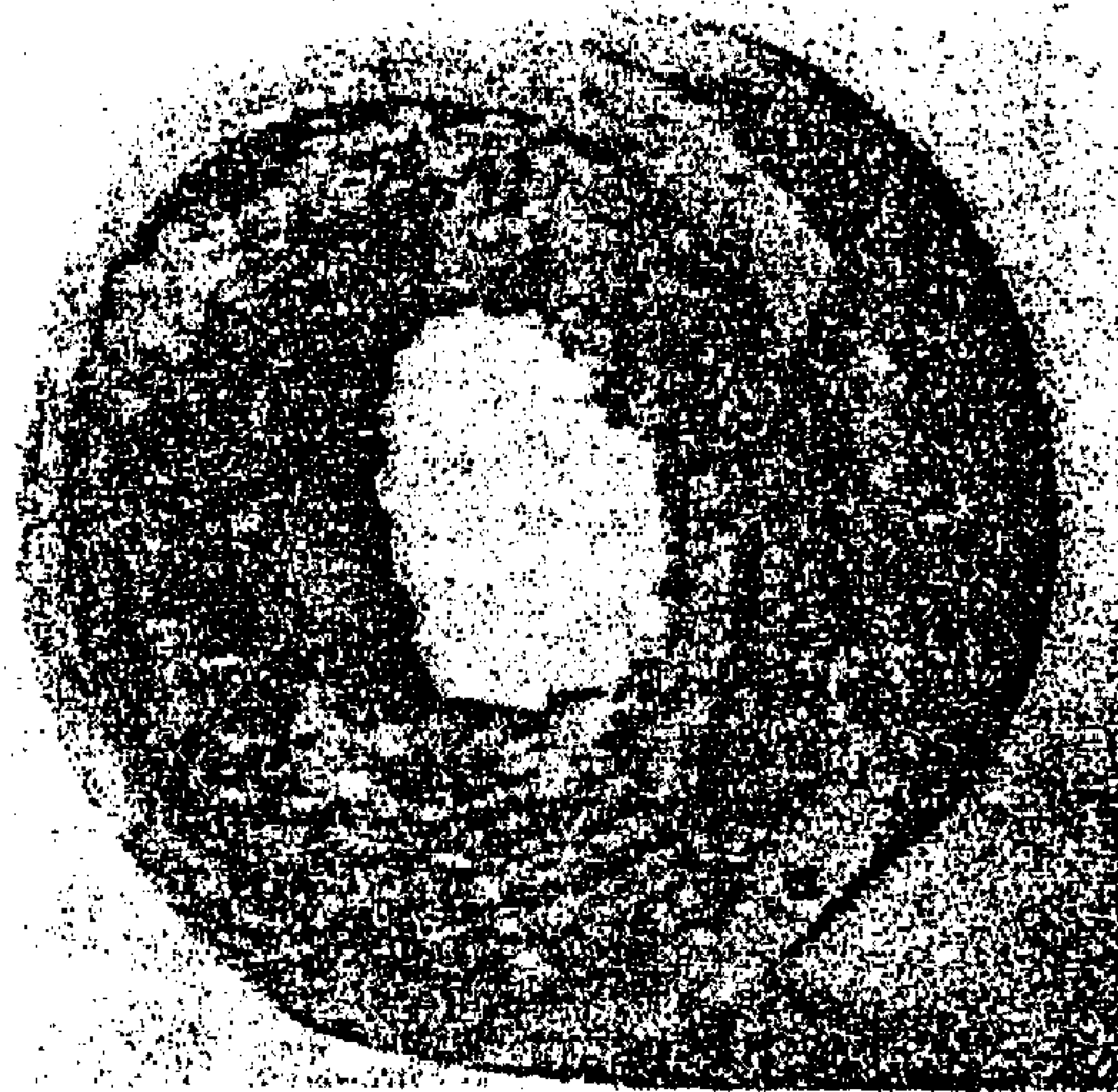
كل المياه يتم ضخها من الخندق المحفور. يتم تركيب قميص أو قفيز فوق مكان التسرب فى الماسورة وإحكامه حتى توقف التسرب. يتم دفق الماسورة بالماء المضغوط ثم إعادة اختبارها وتطهيرها بعد عمل الإصلاحات.

النظافة : (Cleaning)

التلفيات والكسور المفاجئة التى تحدث فى خطوط المواسير ليست هى المشاكل الوحيدة التى يمكن أن تحدث فى شبكة التوزيع. قد يحدث تراكم لترسيبات مفككة فى خط المواسير وتحديداً فى فروع النهايات الميتة. هذه الرواسيب يمكن أن تسبب المذاق والرائحة وكذلك مشاكل بالنسبة للون، حيث يمكن إزالتها بدفق المياه من آن إلى آخر باستخدام حنفيات الحريق.

كثير من خطوط مواسير المياه يعانى من آثار تراكم الرواسب الصلبة التدريجى على الجدار الداخلى للماسورة. كلما زاد زمن خدمة الماسورة كلما زادت حدة هذه المشكلة. هذه الرواسب الموضحة فى الشكل (٤/١١) تقلل من الطاقة الهيدروليكية لخط المواسير وتسبب فقداً كبيراً فى الضغط، وزيادة تكاليف الضخ كما توجد فرصة لإعادة نمو وتكاثر البكتريا فى شبكة التوزيع.

هذه الرواسب يمكن أن تتكون من درنات أو كتل من أكسيد الحديد إذا كان الرقم الهيدروجينى للماء منخفضا ولا توجد طبقة بطانة لحماية السطح الداخلى للماسورة. وهذه المشكلة تسمى تراكم الدرنات والترسيبات.



شكل (٤/١١) ماسورة تالفة بسبب التراكم الداخلى للرواسب التى قللت من طاقة الماسورة

عندما يكون الرقم الهيدروجينى (pH) للماء مرتفعا، فإن الرواسب تتكون من قشور من كربونات الكالسيوم (Scales). المحافظة على استمرار الرقم الهيدروجينى المناسب بما يحقق عدم العدوانية وعدم ترسيب كربونات الكالسيوم يمكن تنفيذه بإضافة الكيماويات عند محطة المعالجة. رغم أن ذلك يمكن أن يقلل من تكون رواسب إضافية، إلا أنه لا يعيد الطاقة المفقودة التى قد حدثت. الطريقة العادية لإصلاح خطوط مواسير المياه القديمة هى بنظافتها باستخدام أداة كشط هيدروليكية أو ميكانيكية. أثناء عملية النظافة يمكن توفير إمدادات المياه إلى المستهلكين باستخدام خط مواسير جانبى مؤقت بقطر صغير أو بالخراطيم. يمكن إزالة الرواسب السميكة باستخدام تجهيزات ميكانيكية. أداة القطع تتكون من ريش دوارة من الصلب مركبة على عديد من وصلات الحمل المثبتة فى قضيب مركزى.

نوع آخر من تجهيزات عمل النظافة وهى كتلة معدنية فى شكل قذيفة مطاطية تسمى (Pig) وهى يتم لفها بواسطة شرائط فى شكل حلزونى. الدفع يتم بواسطة ضغط الماء خلال خط المواسير، هذه الكتلة المعدنية تعمل على كشط الرواسب من الجدار الداخلى للماسورة. يتم إدخالها فى الخط إما خلال حنفية الحريق أو بواسطة قاذف خاص. يتم عمل عدة مرات من مرور (Pig) لإزالة كل الرواسب بعد ذلك يتم دفق وتطهير الخط قبل إعادة دخوله فى الخدمة.

التبطين : (Lining)

المواسير المنشأة حديثا سواء كانت من الزهر الرمادى (غالبا) أو من الصلب تكون مبطنة بالمونة الأسمنتية لحماية السطح الداخلى للماسورة من التآكل وحدوث الترسيبات. ولكن كثيرا من مواسير المياه الحديدية التى أنشئت فى الماضى ليس بها هذه البطانة الأسمنتية. عند نظافة هذه المواسير وإزالة الرواسب يصبح من الضرورى عمل طبقة بطانة لمنع حدوث مشكله التآكل والترسيبات. أحد طرق الصيانة هذه تسمى التبطين المنزلق (Sliplining)، ويشمل وضع ماسورة بلاستيك داخل الماسورة النظيفة، ماسورة البلاستيك ذات القطر الأصغر قليلا عن القطر الداخلى الأصلى للماسورة، يتم دفعها خلال مقاطع مستقيمة من مواسير النقل. طريقة أخرى لحماية الجدار الداخلى للماسورة النظيفة هو باستخدام التبطين بالمونة الأسمنتية للماسورة فى الموقع. بالنسبة للمواسير ذات أقطار أقل من ٦٠سم، يمكن ضخ المونة الأسمنتية بواسطة خرطوم إلى ماكينة تبطين التى يتم

دفعها خلال خط المواسير. المونة الأسمنتية يتم رشها بالطرد المركزى على جدار الماسورة، سمك طبقة البطانة يمكن ضبطه بالسرعة التى يتم بها دفع الماكينة خلال الماسورة. يفضل سمك طبقة البطانة ليكون ٦ مليمتر أو أقل، وذلك لعدم الخفض الكبير فى القطر الداخلى للماسورة. بالنسبة للمواسير ذات قطر أكبر من ٦٠سم يمكن للعامل أن يدخل داخل الماسورة ومعه معدة التبطين.

النظافة والتبطين يمكن بهما إصلاح خط المواسير، وزيادة طاقة التحميل وخفض الفقد فى الضغط. ولكن عند استخدام هذه الطريقة يجب مراعاة عدم حدوث أى تلفيات للماسورة. خط المواسير الذى حدث به تلف وحدث به العديد من الكسور والتسرب للمياه يمكن استبداله كلية بخط مواسير جديد. خطوط المواسير الخرسانية الضخمة يمكن تبطينها بماسورة من البلاستيك لاستعادة قدرتها الإنشائية مع أدنى فقد فى الطاقة. يكون من الضرورى مقارنة اقتصاديات الاستبدال الكامل مقابل النظافة والتبطين. فى حالة زيادة الطلب على المياه فى المنطقة، قد يلزم خطوط مواسير جديدة، الإصلاح فقط قد لا يكون كافياً لتوفير متطلبات المياه.

٣- طلمبات الطرد المركزى : (Centrifugal Pumps)

الطلمبة هى تجهيزة ميكانيكية تضيف طاقة للماء أو للسوائل الأخرى، فى معظم نظم توزيع المياه، تكون الطلمبات مطلوبة لرفع المياه إلى الارتفاعات ولدفع المياه خلال شبكة مواسير المياه تحت الضغط. أحد الطرق لتصنيف الطلمبات هو طبقاً لاستخدامها فى مجال نقل وتوزيع المياه. الطلمبات التى ترفع المياه من المجرى المائى أو البحيرة تسمى طلمبات الرفع الواطى (Low lift Pumps) وهذه تحرك كميات ضخمة من المياه ولكن عند ضغط تصرف منخفض نسبياً. الطلمبات التى تقوم بصرف مياه الشرب المعالجة إلى خطوط النقل والتوزيع تسمى طلمبات الرفع العالى (High Lift Pumps)، وهذه تعمل عند ضغط مرتفع نسبياً.

أحياناً يكون من الضرورى زيادة الضغط فى شبكة التوزيع أو رفع المياه إلى خزان علوى، يمكن استخدام طلمبات التقوية لهذا الغرض (Booster Pumps). طلمبات الآبار ترفع المياه من الخزان الجوفى تحت سطح الأرض وعادة يتم صرفها فى شبكة التوزيع مباشرة. طريقة أخرى لتقسيم الطلمبات هى طبقاً للطريقة الميكانيكية التى تعمل بها. النوعين الأساسين هما الطلمبات موجبة الإزاحة، وطلمبات الطرد المركزى (Positive Displacement and Centrifugal Pumps). الطلمبة موجبة الإزاحة تقوم بدفع كمية معينة

من المياه مع كل دورة لكباس الطلمبة. يتم دفع المياه أو إزاحته من غلاف الطلمبة طبيعيا. طاقة الطلمبة لا تتأثر بالتغيرات فى الضغوط فى النظام الذى تعمل فيه. طلمبات الطرد المركزى هى أكثر الطلمبات استخداماً فى نظم إمدادات المياه (وكذلك مياه الصرف). طاقة الطلمبة هى بدلالة الضغط الذى تعمل ضده فى النظام. طلمبة الطرد المركزى تضيف طاقة إلى الماء من خلال إسراعها وتعجيلها بفعل دافع سريع الدوران.

يتم دفع المياه إلى الخارج بواسطة ريش الدافع ومرورها خلال غطاء الطلمبة ذو الشكل الحلزونى، حيث يتم إبطاء سرعتها بالتدريج. مع هبوط سرعة المياه فى الغلاف الحلزونى المتمدد فإن الطاقة الحركية للمياه تتحول إلى ضغط (Pressure Head) أى العلو الضغطى الذى يزداد بارتفاع عامود السائل، وهذا يسمى ضغط التصرف (Discharge Pressure).

يمكن تقسيم طلمبات الطرد المركزى إلى قسمين وهما ذات التدفق المحيطى (Radia Flow) وذات التدفق المحورى (Axial Flow). نوع التدفق المحيطى يتم صرف المياه عند زاوية قائمة بالنسبة لاتجاه تدفق المياه إلى دافع الطلمبة، وفى التدفق المحورى يتم صرف المياه فى نفس اتجاه محور الدافع، طلمبات الطرد المركزى ذات أكثر من دافع واحد تسمى الطلمبات التربينية (Turbine Pumps).

طلمبات الطرد المركزى لها عديد من المزايا تفوق طلمبات الإزاحة الموجبة. فهى طلمبة بسيطة ذات جزء متحرك واحد – الدافع، ليست هناك حاجة لمحابس داخلية كما لا توجد حاجة للتزليق الداخلى، كذلك فإنها تعمل بهدوء شديد، العيوب تشمل تأثير الضغط على خرج الطلمبة والكفاءة، وضرورة التحضير للطلمبة قبل تشغيلها. التحضير يشمل ملأ غلاف الطلمبة وخط السحب بالماء.

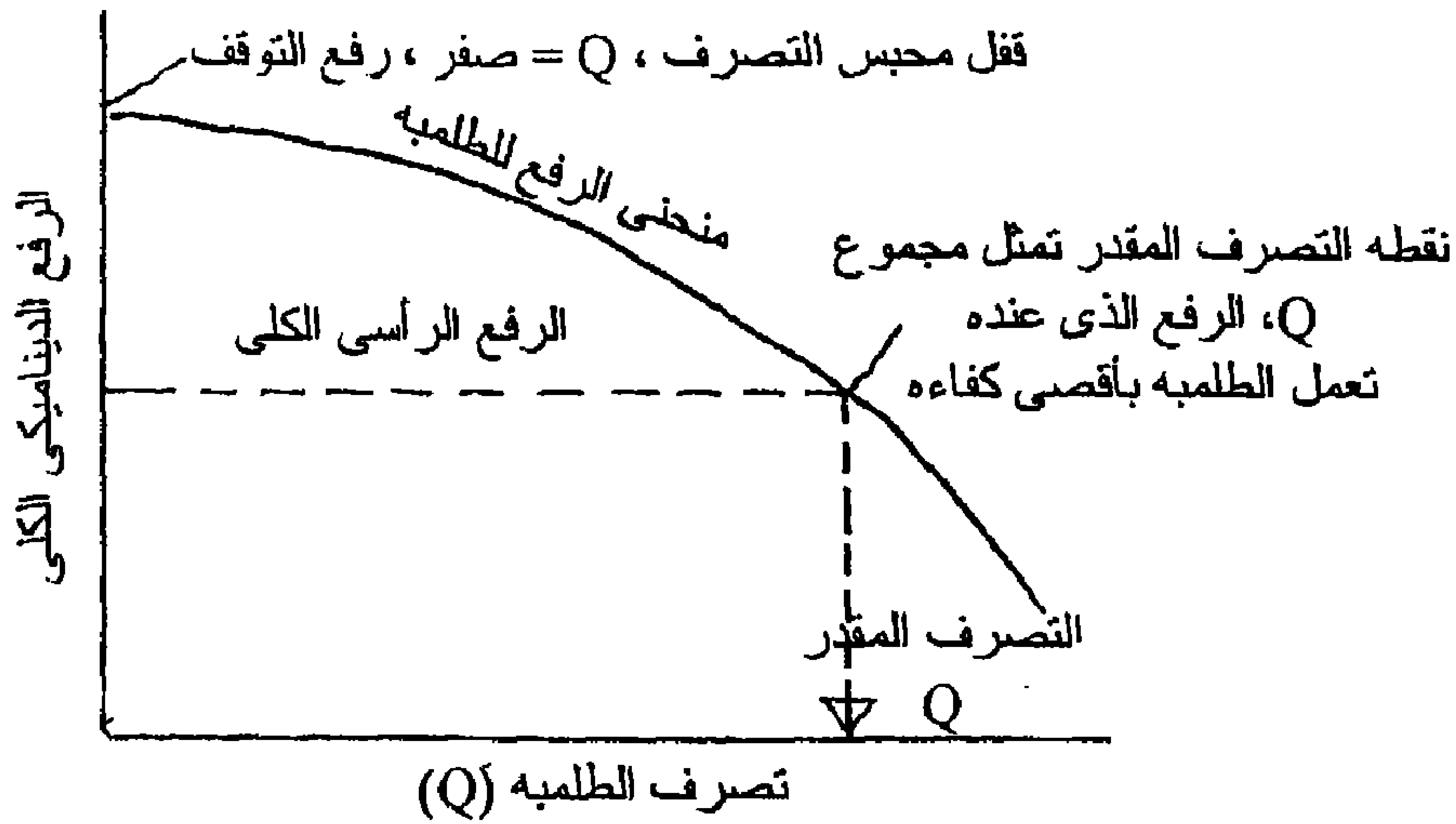
خواص الطلمبة :

خواص الأداء أو الكفاءة لطلمبة الطرد المركزى تعرف العلاقة بين التصرف أو معدل التدفق، ضغط التصرف الرأسي الذى تعمل ضده الطلمبة، ومتطلبات الطاقة، وكفاءة العمل. هذه الخواص تتوقف على القطر، السرعة، شكل الدافع (الدافعات) خلال غطاء الطلمبة. وهذه تختلف لكل نموذج للطلمبة.

منحنى ضغط الطلمبة (Pump Head Curve)

صانع الطلمبات يوفر البيانات فى كتالوج لوصف خواص الكفاءة وأداء الطلمبة، هذه البيانات عادة تكون فى شكل مخطط. نموذج لهذا المخطط يوضح العلاقة بين معدل التدفق والضغط الرأسى الكلى لطلمبة الطرد المركزى لسرعة ثابتة وقطر ثابت للدافع، موضح

فى الشكل (٤/١٢). وهذا يسمى منحنى ضغط الطلمبة. الضغط الرأسى يتم توقيعه على المحور الرأسى فى الشكل (٤/١٢) وهذا يسمى الضغط الديناميكى الكلى، ويعبر عنه بالأمتار (الأقدام) من الماء. يتوقف الضغط الديناميكى الرأسى على شكل النظام الذى تقوم الطلمبة بالصرف فيه ومعدل التدفق. معدل التدفق أو التصرف (Q) يتم توقيعه على المحور الأفقى ويعبر عنه باللتر فى الثانية أو بالجالون فى الدقيقة.



شكل (٤/١٢) منحنى التصرف والرفع لطلمبة الطرد المركزى.

ينخفض التصرف مع زيادة الرفع أو الضغط على الطلمبة.

منحنى ضغط الطلمبة يبين بوضوح أن معدل تصرف الطلمبة هو دلالة للضغط الكلى الذى تعمل الطلمبة ضده وأن طلمبة طرد مركزى معطاة يمكن أن تعمل خلال مجال كبير من قيم (Q) الضغط الديناميكى الكلى. التصرف يقل مع زيادة الضغط الديناميكى الكلى. عملياً، كلما كانت صعوبة عمل الطلمبة لتحريك المياه كلما قلت قدرتها على التصرف فى وحدة الزمن. وصف حالات التشغيل لطلمبة الطرد المركزى يجب دائماً أن تحدد قيمة Q وما يقابلها من قيمة الضغط الديناميكى الرأسى. طلمبة الطرد المركزى التى تعمل حيث محبس تصرفها مقفل سوف تبنى أقصى ضغط تصرف الذى يسمى ضغط القفل (Shut off Head). عند ضغط القفل، يكون التصرف صفر، ولكن الدافع الدوار يضيف طاقة للمياه التى تدور خلال غلاف الطلمبة وهذا يشكل ضغط زائد، عند الفتح التدريجى للمحبس وبدء تدفق المياه، فإن الضغط الرأسى ينخفض، كما يبينه منحنى ضغط الطلمبة. عند الفتح الكامل للمحبس فإن الطلمبة سوف تعمل عند تصرف ضغط ديناميكى كلى الذى يناظر ذلك للنظام الذى تعمل فيه الطلمبة.

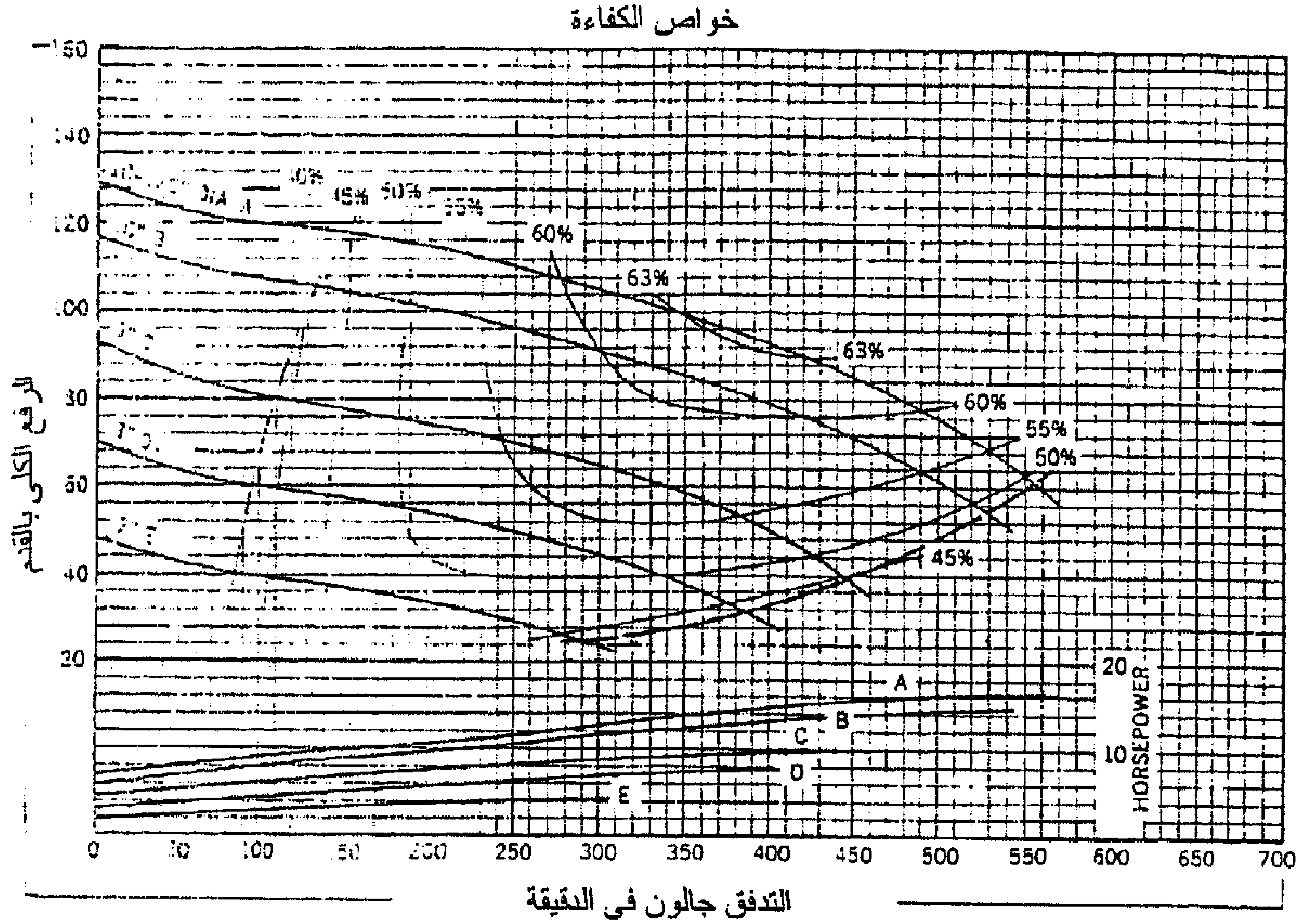
منحنيات ضغط الطلمبة أو منحنيات الضغط – التصرف كما تكون التسمية أحيانا، يتم تعيينها بواسطة صانع الطلمبة طبقاً لحالات الاختبار فى المصنع. أثناء الاختبار، يتم كذلك قياس الطاقة وخواص الأداء والكفاءة للطلمبة، مثل أى تجهيزة ميكانيكية أخرى، فإن طلمبة الطرد المركزى لا يمكن أن تعمل عند كفاءة ١٠٠%. يوجد دائماً مياه دوارة مع الدافع الدوار فى غلاف الطلمبة. بما يسبب فقد فى الطاقة. وهذا يسمى التفويت (Slip)، كلما زاد التفويت فى الطلمبة كلما قلت كفاءتها.

تتوقف كفاءة طلمبة الطرد المركزى على التصرف وإجمالى الضغط الديناميكى. عند ضغط القفل (Q = صفر) تكون الكفاءة صفراً لأن الطاقة لتشغيل الدافع تكون مفقودة كلية (فى شكل حرارة)، لا يوجد شغل طبيعى يتم عمله بواسطة الطلمبة التامة الخنق. مع السماح بزيادة التصرف فإن كفاءة الشغل سوف تزداد إلى أقصى قيمة ثم تبدأ فى الانخفاض. الجمع لكل من التصرف (Q) والضغط الديناميكى الرأسى الذى عنده يتم قياس أقصى كفاءة يسمى طاقة التصرف الطبيعى للطلمبة. الطاقة الطبيعية يمكن توضيحها على منحنى الضغط للطلمبة بعلامة كما هو مبين فى الشكل (٤/١٢).

عادة صناع الطلمبات يبينوا الكفاءة واستهلاك الطاقة، خلال مجال للتدفقات وسرعات الدافع و/أو الأقطار، على مخطط مع منحنى ضغط الطلمبة. مثال لمنحنيات مجموعة خواص الطلمبة موضح فى الشكل (٤/١٣).

سرعة الدافع (Impeller Speed)

بالنسبة لطلمبة طرد مركزى، يكون المطلوب أحياناً تغيير سرعة الدوران للدافع مع السرعة المتغيرة للمحرك. يتغير تصرف طلمبة الطرد المركزى مباشرة مع سرعة الدافع، ضغط التصرف يتغير مباشرة مع مربع سرعة الدافع. بمعنى آخر فى حالة مضاعفة سرعة الدافع فإن التصرف يتضاعف ويزداد ضغط التصرف بمعامل أربعة. هذه العلاقة تسمى قوانين الصلة أو الانحدار (Affinity Laws)، يمكن التعبير عنها كالآتى :



شكل (٤/١٣) مجموعة من منحنيات مختلف أنواع طلمبات الطرد المركزى والتى تشتمل بيانات عن طاقة الرفع، الكفاءة، احتياجات الطاقة لمختلف أحجام الدافع.

$$\frac{Q_1}{Q_2} = \frac{N_1}{N_2} \qquad (١)$$

$$\frac{H_1}{H_2} = \frac{N_1}{N_2} \qquad (٢)$$

حيث :

Q_2 ، Q_1 = تصرفات الطلمبة لتر/ ثانية (جالون فى الدقيقة).

H_2 ،H_1 = الضغط الرأسى لتصرف الطلمبة متر (قدم).

N_2 ،N_1 = سرعات دافع الطلمبة، اللفات فى الدقيقة.

مثال :

بيانات التصنيع لطلمبة طرد مركزى أظهرت أن الطلمبة يمكنها صرف ١٠٠لتر فى الثانية عند ضغط تصرف ٢٥ متراً عندما تكون سرعة الدافع ١٥٠٠ لفة فى الدقيقة، مـــا

هو تصرف الطلمبة المتوقع وضغط التصرف إذا زادت سرعة الدافع إلى ٢٠٠٠ لفة فى الدقيقة.

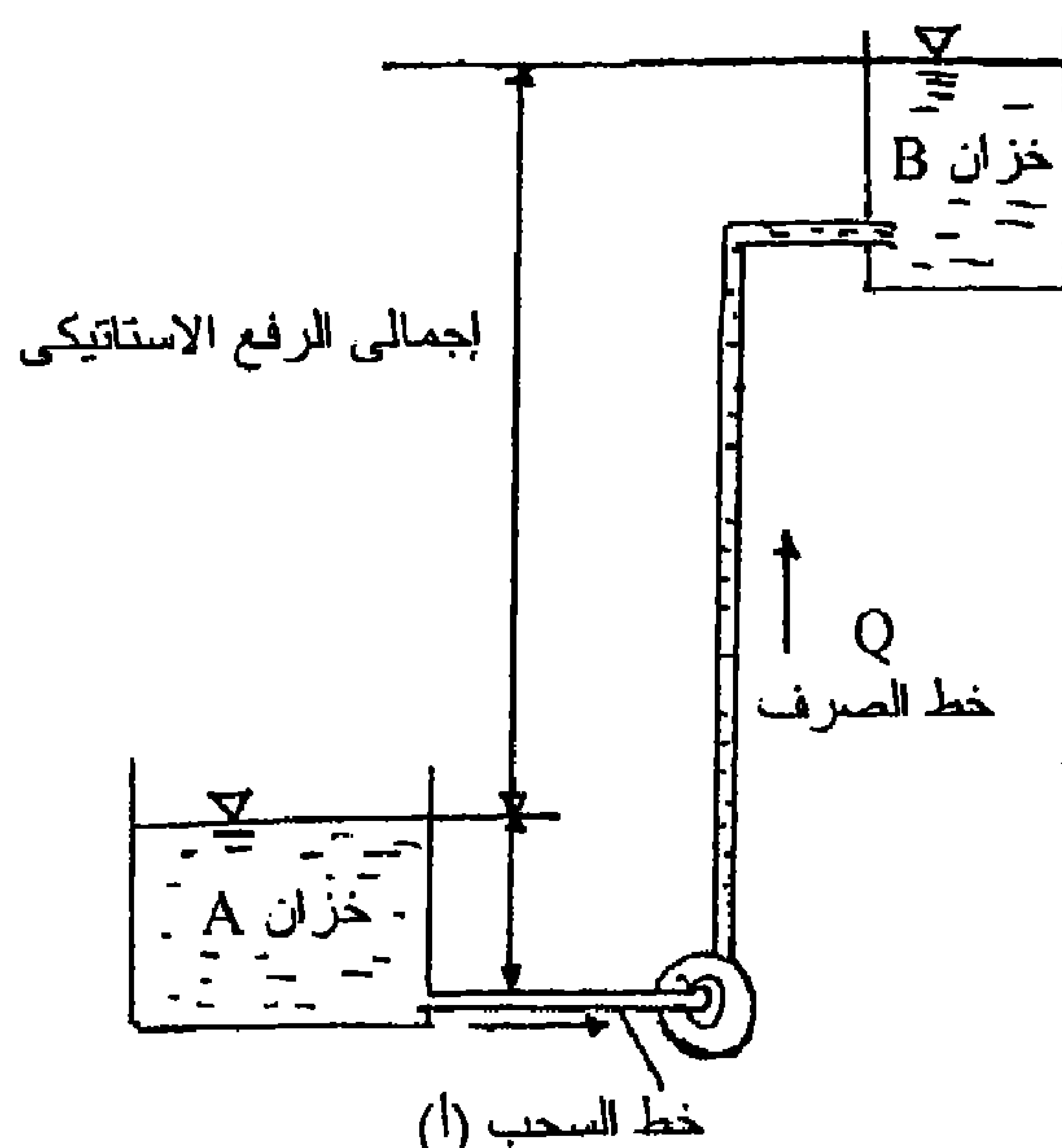
الحل : باستخدام المعادلة (١)، (٢)، نجد أن :

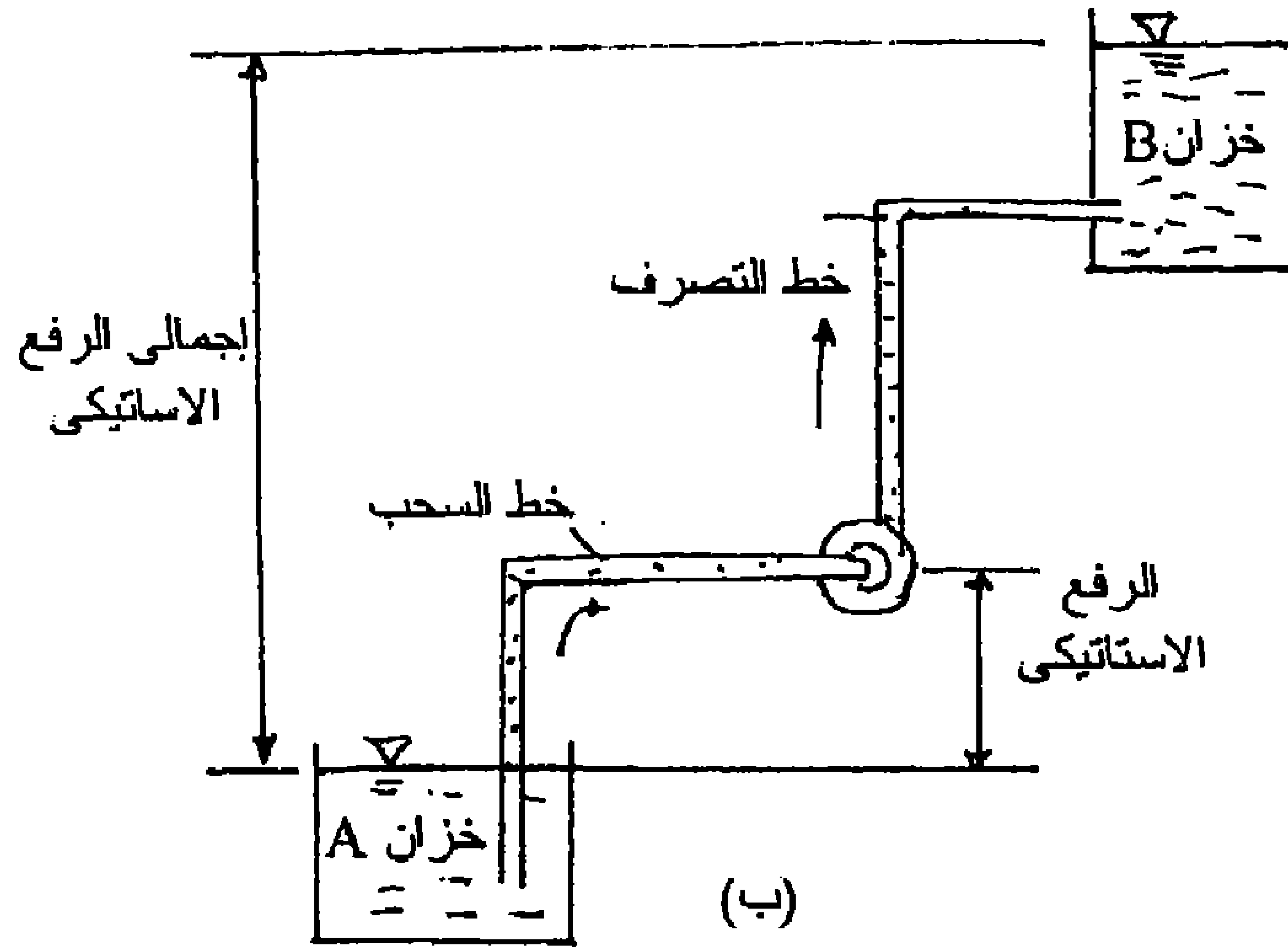
$$\frac{Q_1}{١٠٠} = \frac{٢٠٠٠}{١٥٠٠}$$ و $Q_1 = ١٣٠$ لترا فى الثانية

$$\frac{H_1}{٢٥} = \frac{(٢٠٠٠)^٢}{(١٥٠٠)^٢}$$ و $H_1 = ٤٥$ مترا

خواص النظام : (System Characteristics)

كلمة النظام هنا نعنى بها شبكة المواسير المتقاطعة، خزانات التوزيع، المحابس، المهمات الأخرى المتصلة بالطلمبة. المواسير من مصدر المياه إلى مدخل الطلمبة تسمى خط السحب. فى أحد النظم تكون الطلمبة موضوعة أسفل منسوب المياه على جانب السحب (Suction Side) كما هو موضح فى الشكل (٤/١٤-أ). المسافة الرأسية بين منسوب المياه ومحور الطلمبة تسمى الضغط الاستاتيكى لسحب الطلمبة (Static Suction Head) وهذا تنظيم جيد لأن ضغط السحب سيكون دائماً محافظاً على تحضير الطلمبة وخط السحب أو بمعنى آخر يكون مملوءاً بالماء وجاهزاً للتشغيل.





شكل (٤/١٤) فى المخطط (أ) الماء فى الخزان (A) فوق الطلمبة، يسبب حالة رفع بالسحب، فى المخطط (ب) الماء فى الخزان (A) أسفل الطلمبة يسبب رفع السحب الاستاتيكى. إجمالى الرفع الاستاتيكى يكون دائماً المسافة الرأسية بين أعلا وأسفل أسطح الماء، بصرف النظر عن حالات خط السحب.

عندما يتم إعداد النظام بحيث تكون الطلمبة فوق منسوب المياه على جانب السحب، عندئذ تكون المسافة الرأسية بين سطح الماء ومحور الطلمبة تسمى رفع السحب الاستاتيكى (Static Suction Lift). أقصى ارتفاع نظرى الذى يمكن أن يرفع إليه عامود الماء بواسطة الطلمبة هو حوالى ١٠ متر (٣٣ قدم) عند مستوى سطح البحر. وهذا يعادل الضغط الجوى القياسي. ولكن عند الحالات الديناميكية أى عند تشغيل الطلمبة ووجود تدفق فى النظام فإن رفع السحب يكون محدوداً لأقصى ارتفاع حوالى ٥ متر (١٦ قدم)، هذا لأن مقاومة الاحتكاك للتدفق فى خط السحب الذى يجب أن تعمل الطلمبة كذلك ضده. شكل النظام مع رفع السحب الاستاتيكى موضح فى الشكل (٤/١٤/ب). فى حالة رفع السحب، عادة يتم تركيب محبس قدم فى خط السحب للمحافظة على استمرار التحضير للطلمبة. هذا عبارة عن محبس عدم رجوع الذى يسمح بتدفق المياه فى الماسورة وليس خارجها. بدون محبس عدم رجوع سوف تتدفق المياه خارج خط السحب عندما لا تكون الطلمبة فى التشغيل. طلمبة الطرد المركزى التى تفقد مياه التحضير لأى سبب يجب أن يعاد ملء غلافها وخط السحب بالماء ليمكن أن تعمل. يمكن عمل ذلك يدوياً أو آلياً للطلمبات ذات التحضير الذاتى.

المسافة الرأسية بين سطح المياه الحر على جانب السحب وجانب الصرف للطلمبة تسمى إجمالى الضغط الاستاتيكى (Total Static Head). كما هو موضح فى الشكل (٤/١٧) الذى يمثل التغير الحقيقى فى ارتفاع المياه الجارى ضخها. ولكن عندما تكون الطلمبة فى حالة تشغيل وتحرك الماء خلال النظام (حالة ديناميكية تعارض حالة توقف التدفق أو الحالة الاستاتيكية)، يجب على الطلمبة كذلك أن تتغلب على مقاومة الاحتكاك للتدفق.

نظام منحنى الضغط : (System Head Curve)

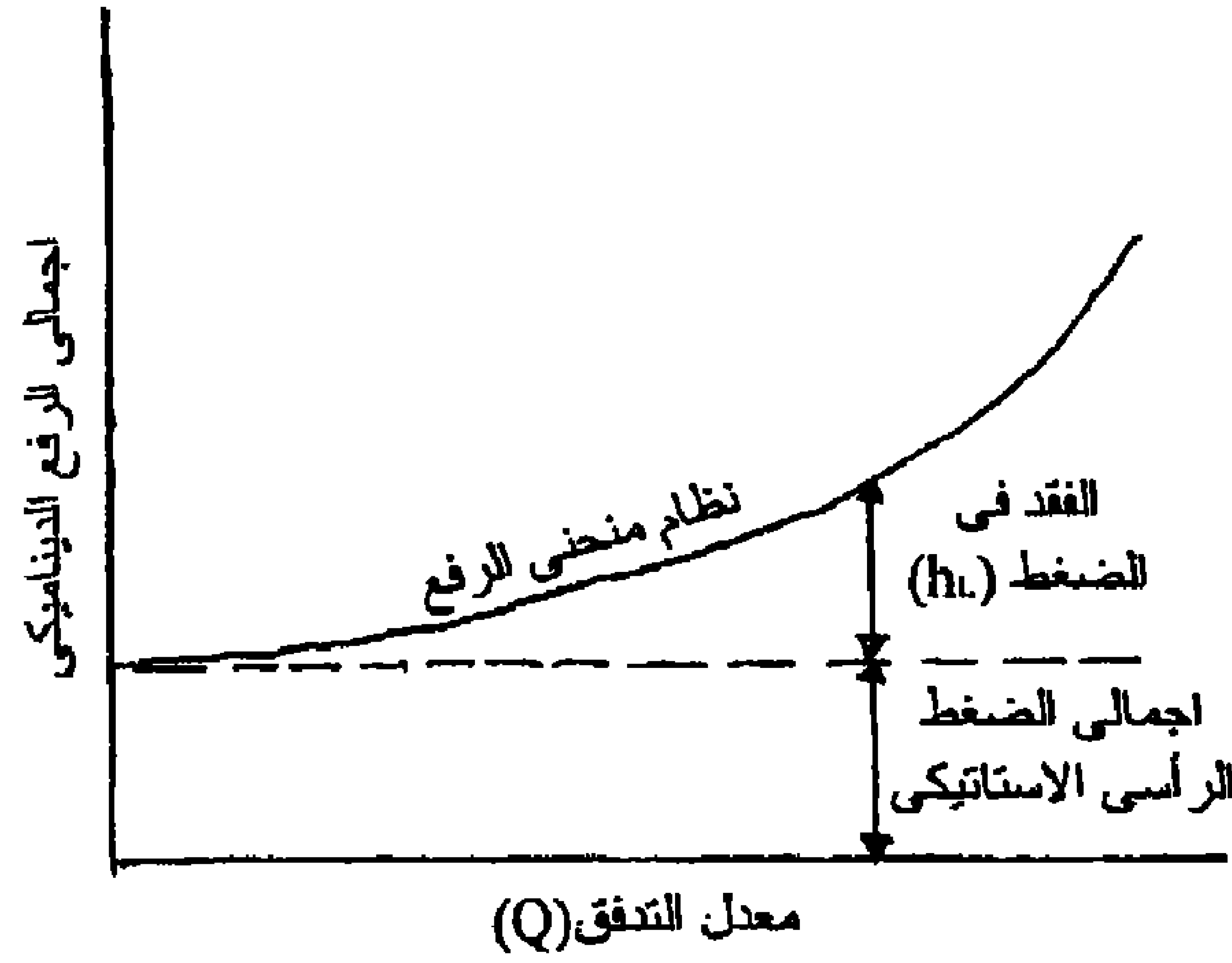
كمية الطاقة المفقودة بسبب الاحتكاك فى النظام هى أساسا دلالة لقطر الماسورة ومعدل التدفق. بالنسبة لقطر ماسورة معين، كلما زاد معدل التدفق كلما زادت مقاومة التدفق والفقد فى الضغط للاحتكاك. بالإضافة إلى إضافة طاقة لرفع الماء وللتغلب على مقاومة الاحتكاك فإن الطلمبة تضيف ضغط السرعة إلى النظام عند استخدامها. عند معدل تدفق معين، فإن مجموع إجمالى الضغط الاستاتيكى (Total Static Head) أو (TDH). (فى معظم الحالات يكون ضغط السرعة صغيراً مقارنة بالضغط الاستاتيكى وضغط الاحتكاك حيث يمكن إهمالها). فى الواقع فإن الطلمبة تعتبر رافعة للمياه مسافة تساوى إجمالى الضغط الديناميكى (TDH) والتى هى دائماً أكبر من الرفع الاستاتيكى.

إجمالى الضغط الديناميكى هذا هو نفس التعبير الذى سبق استخدامه فى المناقشة السابقة لخواص الطلمبة. ولكن الدارس يجب أن يراعى أن إجمالى الضغط الديناميكى أنه من الآن يعتبر من منظور النظام، وليس الطلمبة. مخطط إجمالى الضغط الديناميكى كدلالة لمعدل التدفق يسمى منحنى ضغط النظام (System Head Curve). نموذج لمنحنى ضغط النظام موضح فى الشكل (٤/١٥). لاحظ أنه فى النظام فإن أجمالى الضغط الديناميكى يزداد مع زيادة معدل التدفق. هذا عكس تماماً لما يحدث من منظور الطلمبة. إجمالى الضغط الديناميكى الذى ضده يمكن أن تعمل الطلمبة ينخفض مع زيادة التدفق.

نقطة تشغيل الطلمبة : (Pump Operating Point)

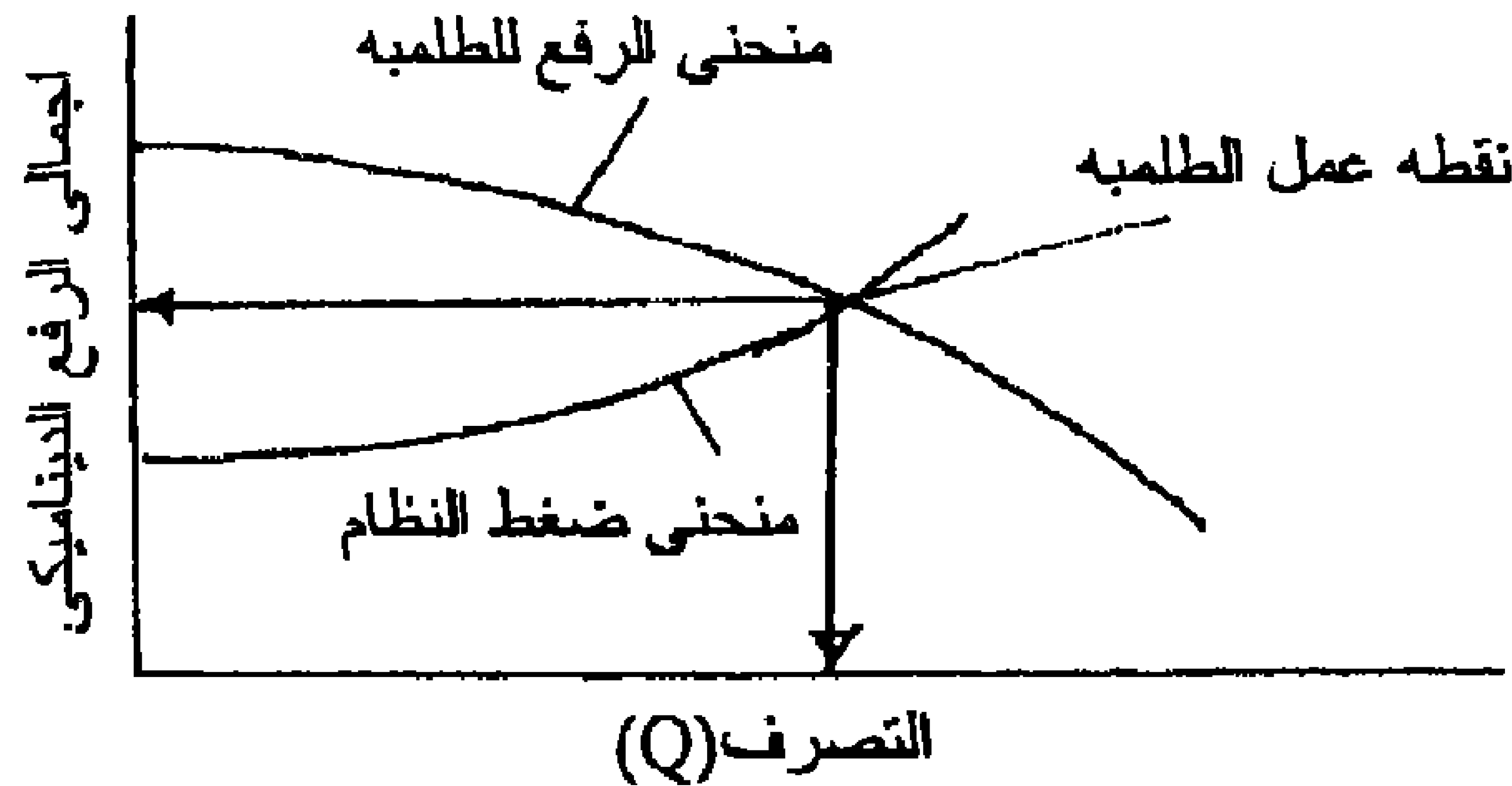
منحنى ضغط الطلمبة يعطى صورة للاستجابة الهيدروليكية للطلمبة بالنسبة للتغيرات فى معدل التدفق أو فى إجمالى الضغط الديناميكى (TDH). منحنى ضغط النظام يعطى صورة للعلاقة بين معدل التدفق وإجمالى الضغط الديناميكى فى النظام. ولكن عند عمل طلمبة غير مخنوقة بانتظام فى نظام معين (مع إجمالى ضغط استاتيكى ثابت) فإنه توجد فقط نقطة واحدة، أى أنه فقط زوج واحد من قيم Q , TDH، الذى عنده سوف تعمل الطلمبة. هذه النقطة يمكن تعيينها جيداً بالرسم، أى برسم كلاً من منحنيات ضغط الطلمبة

والنظام على مخطط واحد. تقاطع كلا المنحنيين يمثل نقطة التشغيل للطلمبة فـي نظـام معين. وهذا موضح في الشكل (٤/١٦).



شكل (٤/١٥) نظام منحنى الضغط يوضح التأثير الهيدروليكى لنظام نقل المياه إلى معدلات تدفق مختلفة. توجد مقاومة أعلى للتدفق ولذلك إجمالى رفع ديناميكى أعلى فى النظام لزيادة معدل التدفق

عند اختيار طلمبة للعمل فى نظام معين فإن المصمم يجب أن يختبر منحنى ضـغط النظام جنباً إلى جنب مع منحنيات ضغط الطلمبة المعطاة فى كتالوج المنـتج. الغـرض الرئيسى من اختبار الطلمبة هو لإيجاد الطلمبة التى سوف توفر معدل التدفق المطلـوب عند أو قريباً من أقصى كفاءة تشغيل لها. بمعنى أن معدل تصرف الطلمبة سوف يتطابق مع النقطة التى من المتوقع أن تعمل عندها فى النظام. إنه ليس من المناسب اختيار طلمبة ذات طاقة أكبر فى النظام ثم يتم خنق التصرف للحصول على التدفق المطلوب.

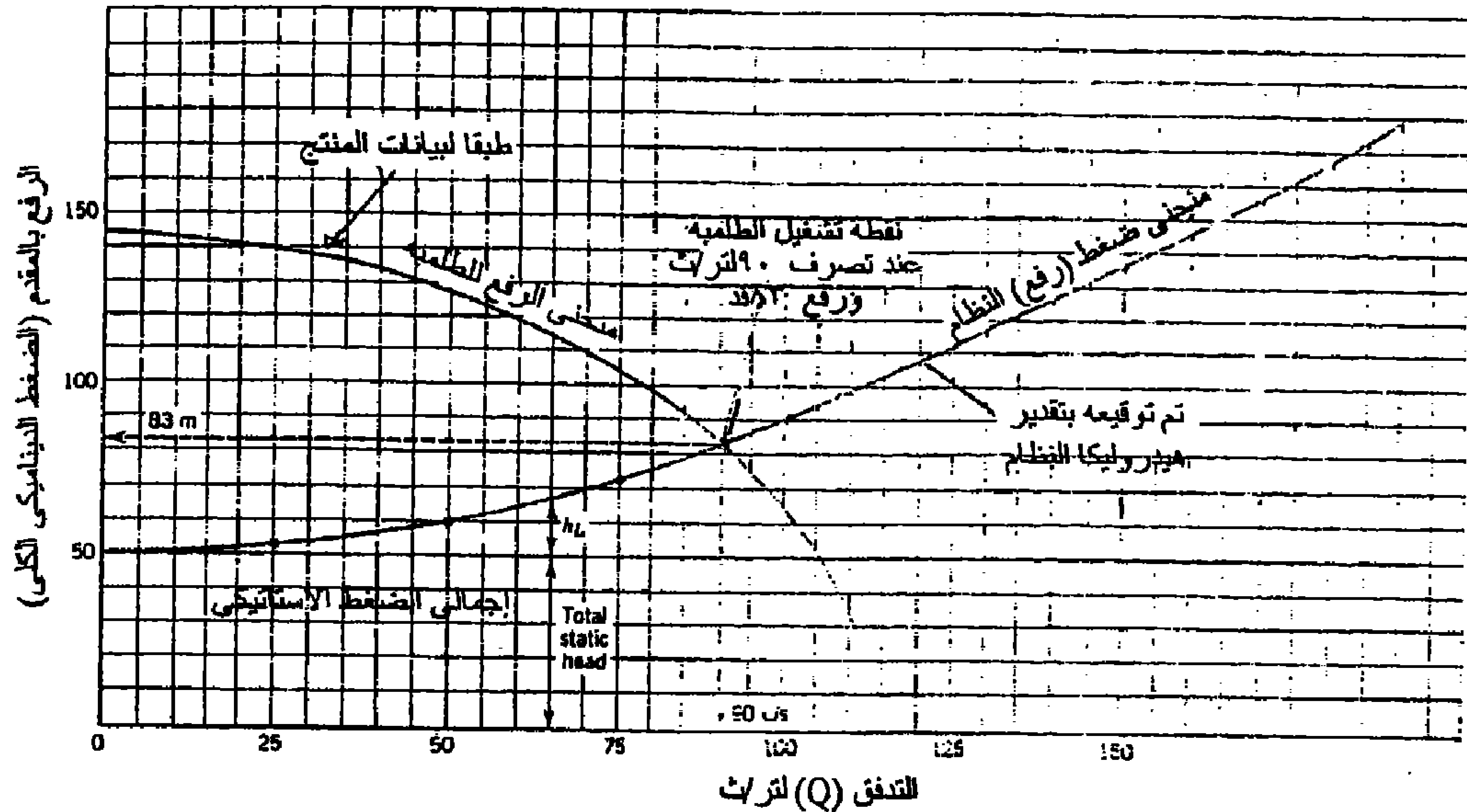


شكل (٤/١٦) تقاطع منحنى الرفع لطلمبة الطرد المركزى ونظام المنحنى فى النظام الذى تعمل فيه يمثل نقطة العمل للطلمبة فى هذا النظام.

المثال الآتى يوضح طريقة تعيين نقطة تشغيل الطلمبة.

مثال : (١)

طلمبة طرد مركزى منحنى الضغط فى الشكل (٤/١٧). عين نقطة تشغيل الطلمبة فى النظام الذى له إجمالى الضغط الاستاتيكى ٥٠ متر ويشمل ماسورة بطول ٤٥٠٠متر وبقطر ٣٠٥ مليمتر.



شكل (٤/١٧) توضيح للمثال

الحل :

منحنى ضغط النظام يجب توقيعه على مخطط فى الشكل (٤/١٧) لإيجاد نقطة التشغيل. لعمل ذلك، يتم اختيار عدة قيم للتصرف، والفقد بالاحتكاك عند تلك التصرفات وتعيينها باستخدام مخطط هازن-وليام (فى الفصل الثالث بند٢).

مع إهمال ضغط السرعة، يتم تعيين الضغط الديناميكى الكلى (TDH) لكل قيم مختارة لـ (Q) بإضافة الفقد بالاحتكاك الذى تم حسابه إلى الضغط الاستاتيكى الكلى. وهذا موجز فى الجدول (٤/٢). الفقد فى الضغط بالاحتكاك يتم حسابه بالمعادلة

$L \times S = hr$ حيث

S = ميل خط الانحدار الهيدروليكى HGL

L = طول الماسورة ٤٥٠٠ متر.

إجمالى الضغط الديناميكى (TDH) = ٥٠ متر + h_L عند كل معدل تدفق مختار.

بتوقيع قيم Q وقيم (TDH) من الجدول (٤/٢) يعطى منحنى ضغط النظام، كما هو موضح فى الشكل (٤/١٧). تقاطع منحنى النظام مع منحنى الطلمبة المعطى هو نقطة التشغيل للطلمبة فى النظام المعطى. وهذه تقرأ من المخطط لتكون ٩٠لتر/ الثانية. عند إجمالى الضغط الديناميكى (TDH) ٨٠ متر.

جدول (٤/٢) حساب إجمالى الضغط الديناميكى للمثال السابق

Q ، لتر/ث	S، متر/متر	h_L، متر	إجمالى الضغط الديناميكى (TDH)، متر
صفر	صفر	صفر	٥٠
٢٥	٠,٠٠٠٠٦٥	٣	٥٣
٥٠	٠,٠٠٠٢٥	١١	٦١
٧٥	٠,٠٠٠٥	٢٣	٧٣
١٠٠	٠,٠٠٠٩	٤١	٩١
١٢٥	٠,٠٠١٤	٦٣	١١٣
١٥٠	٠,٠٠١٩	٨٦	١٣٦

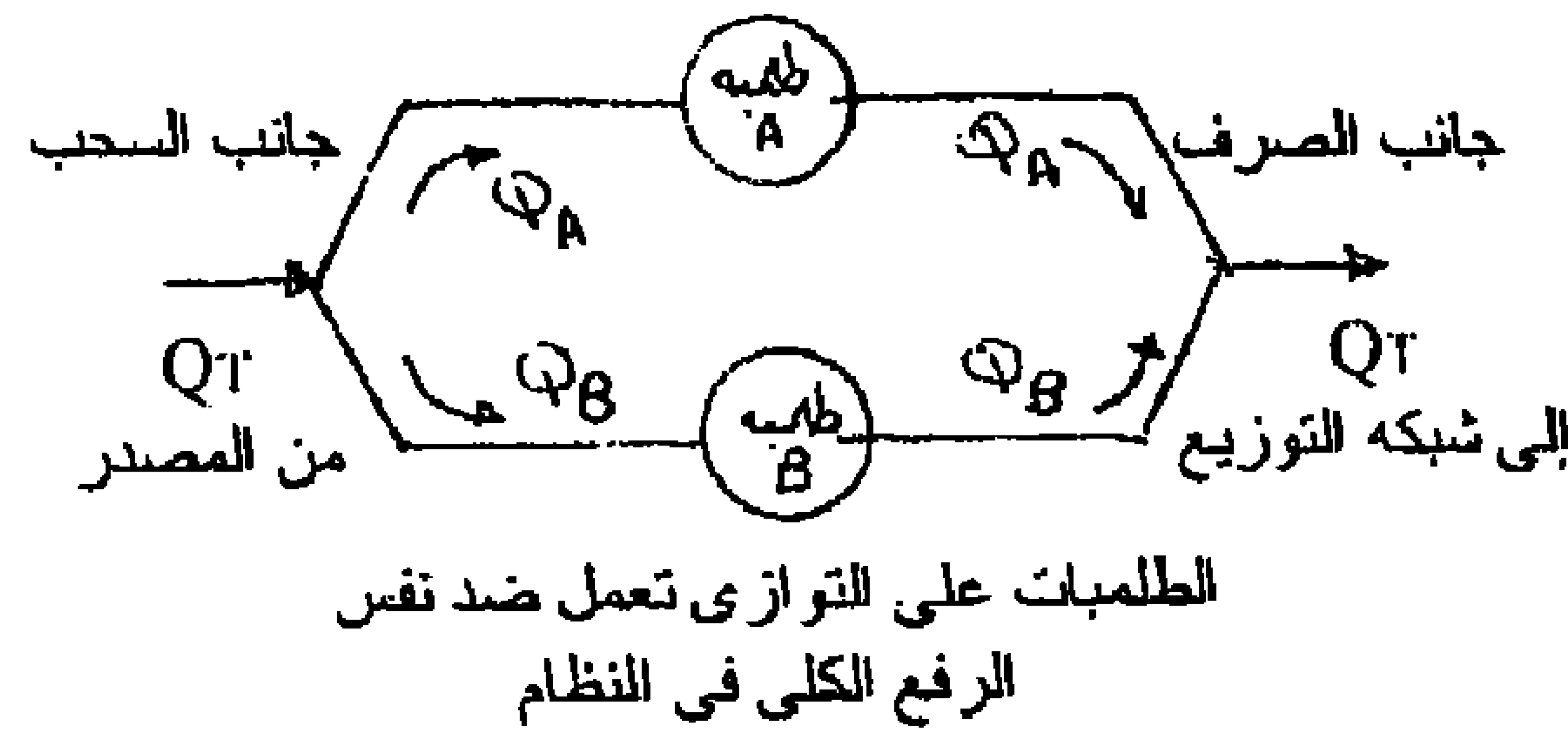
العمل المتوازى : (Parallel Operation)

الطلب على المياه واستخداماتها يتغير على أساس كل ساعة وكل يوم وكل موسم. رغم أن احتياج ساعات الذروة عادة لا يتم كفايتها بالماء من خزانات المياه المحلية، فإنه يظل من الضرورى الإمداد للخرج المتغير للطلمبة لتغطية التغيرات اليومية أو الاحتياجات الموسمية.

أحد الطرق لعمل ذلك هو باختيار طلمبة ضخمة ما يكفى لتداول أقصى تدفق متوقع فى النظام ثم خفض تصرفها بالخنق (Throttling) عندما تقل الحاجة إلى المياه. ولكن هذه طريقة غير مفضلة. ستكون كفاءة عمل الطلمبة منخفضة لأن الطلمبة نادراً ما ستعمل عند تصرفها الطبيعى. الطريقة الأخرى لتغيير خرج الطلمبة هى باستخدام محرك متغير السرعة لتشغيل الطلمبة.

بزيادة سرعة دوران الدافع يمكن زيادة تصرف الطلمبة. ولكن المعدة ذات السرعة المتغيرة مكلفة.

الطريقة الثالثة تتضمن العمل المتوازى لطلمبتين أو أكثر لاقت استخداماً كثيراً. الطلمبات التى تتصل على التوازى وتصرف فى ماسورة صرف واحدة، وضغط السحب والصرف لكل من الطلمبات هو واحد. التنظيم المتوازى موضح فى الشكل (٤/١٨). العمل المتوازى مفيد لأنه يمكن إيقاف طلمبة أو أكثر عندما يقل الطلب على الماء، بما يسمح بباقى الطلمبات للعمل عند أو قريباً من الكفاءة القصوى.



شكل (٤/١٨) مخطط يوضح طلمبات متصلة على التوازى.

التدفق الكلى هو مجموع كل تصرف من كل من الطلمبتين عند نفس إجمالى الرفع الديناميكى الكلى أو
$$Q_T = Q_A + Q_B$$

كذلك، التوصيل المتوازى يسمح بعمل الصيانة على أحد الطلمبات بدون الحاجة إلى إيقاف كل محطة الضخ.

لتقييم كفاءة الطلمبات المتوازية التى تعمل فى نظام معين، يكون من الضرورى أولاً تعيين وتوقيع منحنى الضغط المشترك للطلمبات. يمكن عمل ذلك ببساطة بإضافة أو جمع منحنيات الضغط لكل طلمبة أفقيا. بمعنى آخر، بالنسبة لقيم مختارة لإجمالى الضغط الديناميكى (TDH) على المحور الأفقى، تضاف قيم التصرف من كل طلمبة وتوقع النتيجة على طول المحور الأفقى. المثال التالى يوضح هذه الطريقة لنظام حيث طلمبتان مستقلتان على التوازى. من المهم ملاحظة أن مجموع التصرف من الطلمبتين ليس ببساطة ضغط التصرف من طلمبة واحدة تعمل منفردة فى النظام.

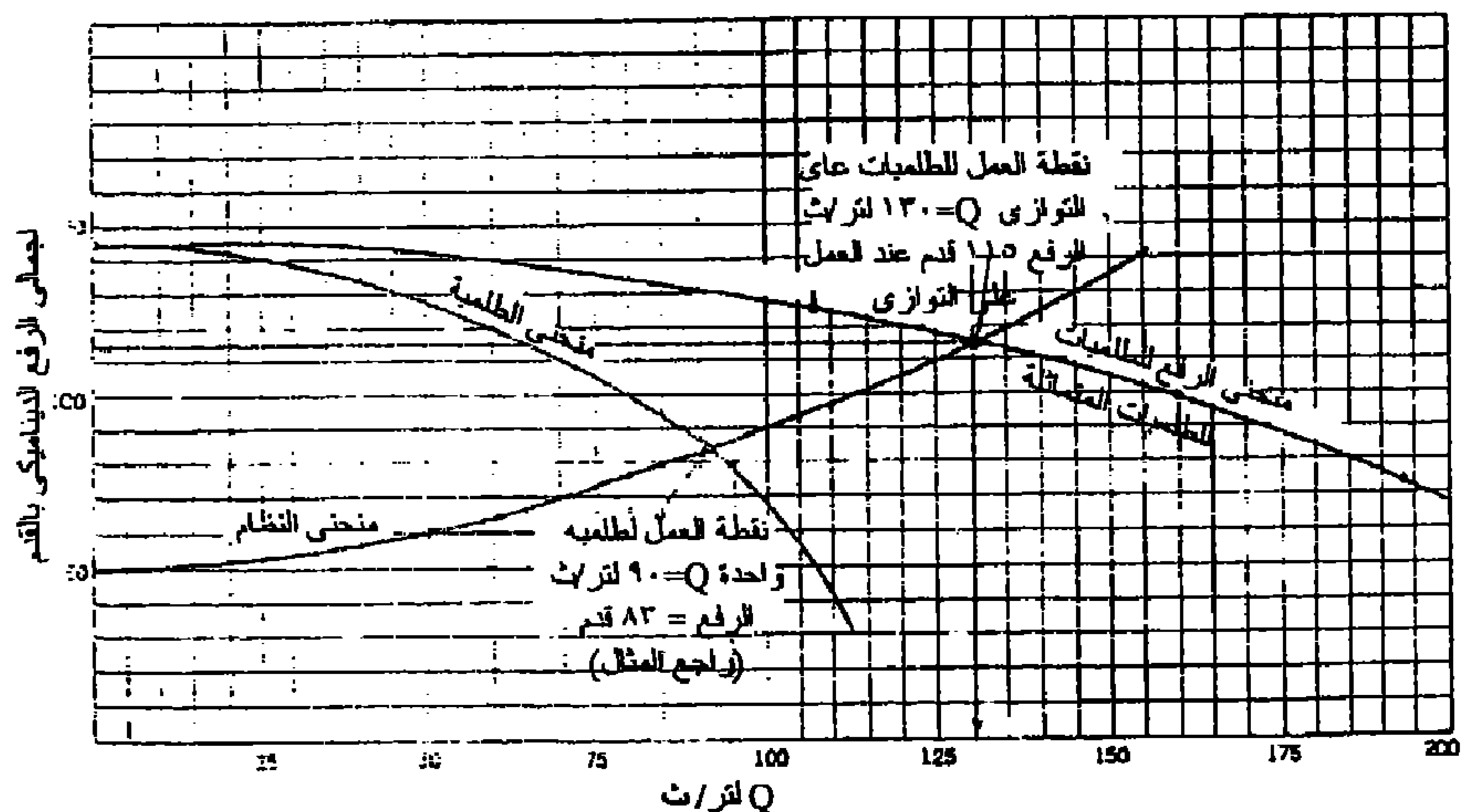
مثال : (٢)

طلمبتان مستقلتان لهما منحنى الضغط موضح فى الشكل (٤/١٧)، متصلتان على التوازى. وضح بمخطط منحنى الضغط المشترك للطلمبتين، وعين نقطة تشغيلهما فى النظام المعطى فى المثال السابق.

الحل :

أولاً يتم تحضير مخطط لمنحنى ضغط الطلمبة لطلمبة واحدة، كما هو مبين في الشكل (٤/١٧). يتم الاختيار الافتراضي لقليل من قيم إجمالي الضغط الديناميكي، مثل ٧٥متر، ١٠٠ متر، ١٢٥ متر. بالنسبة لإجمالي الضغط الديناميكي = ٧٥ متراً فإن تصرف الطلمبة يكون ٩٧ لتر/ثانية. لعدد اثنين طلمبة تعملان على التوازي عند نفس إجمالي الضغط الديناميكي ٧٥متراً فإن مجموع التصرف سيكون ٩٧ + ٩٧ أو ١٩٤ لتر/الثانية. يتم توقيع نقطة على المخطط ذات إحداثيات Q = ١٩٤ لتراً/ الثانية، إجمالي الضغط الديناميكي (TDH) = ٧٥ متراً.

إذا كان (TDH) ١٠٠ متر، فإن التدفق من طلمبة واحدة هو ٨٠ لتر/ الثانية ومجموع التدفق من الطلمبتين على التوازي هو ١٦٠ لتراً/ الثانية. أخيراً عند ضغط توقف ١٤٤ متراً، سيكون هناك عدم تدفق من أي من الطلمبتين والمجموع سيكون صفر لتر/ الثانية. بتوقيع كل هذه النقط على مخطط ورسم خط رقيق يمر خلال هذه النقط سينتج عنه منحنى الضغط لمجموع الطلمبتين اللتان تعملان على التوازي. وهذا موضح في الشكل (٤/١٩). منحنى ضغط النظام من المثال رقم (١) يتم كذلك توقيعه على الشكل (٤/١٩). تقاطع مجموع منحنى الضغط مع منحنى النظام يمثل النقطة التي تعمل عندها الطلمبات على التوازي. من هذا المخطط نرى أنه سوف يكون هناك صرف لمجموع تدفق ١٣٠ لتراً/ الثانية عند إجمالي الضغط الديناميكي (TDH) ١١٥ متر. كلاً من الطلمبتين يساهم بـ ٦٥ لتر/ث من التدفق في العمل على التوازي بينما طلمبة واحدة تعمل منفردة في النظام فإنها تصرف ٩٠ لتر في الثانية.



شكل (٤/١٩) توضيح للمثال

عند توصيل طلمبتين أو أكثر مختلفتين على التوازى، فإن طريقة تعيين منحنى مجموع الضغط تشبه لتلك التى سبق وصفها. ولكن مجموع المنحنى سوف سيتفرع من منحنى الطلمبة الأكثر ضخامة عند قيم أعلى لمجموع الضغط الديناميكى. حتى عند عمل الطلمبة الأصغر، فإنها سوف لا تساهم فى أى تصرف عندما يكون إجمالى الضغط الديناميكى فى النظام أعلى من ضغط إيقاف الطلمبة. وهذا موضح فى المثال التالى.

مثال : (٣)

الطلمبة (A) والطلمبة (B) متصلتان على التوازى فى نظام يشمل ماسورة لطول ٨٠٠٠ قدم وبقطر ٨ بوصة (C = ١٥٥). الضغط الرأسى الكلى للنظام هو ٨٠ قدم. تم توفير بيانات الطلمبة بواسطة المنتج والتىتصف منحنيات ضغط الطلمبة فى شكل جدول كما هو موضح فى الجدول (٤/٣).

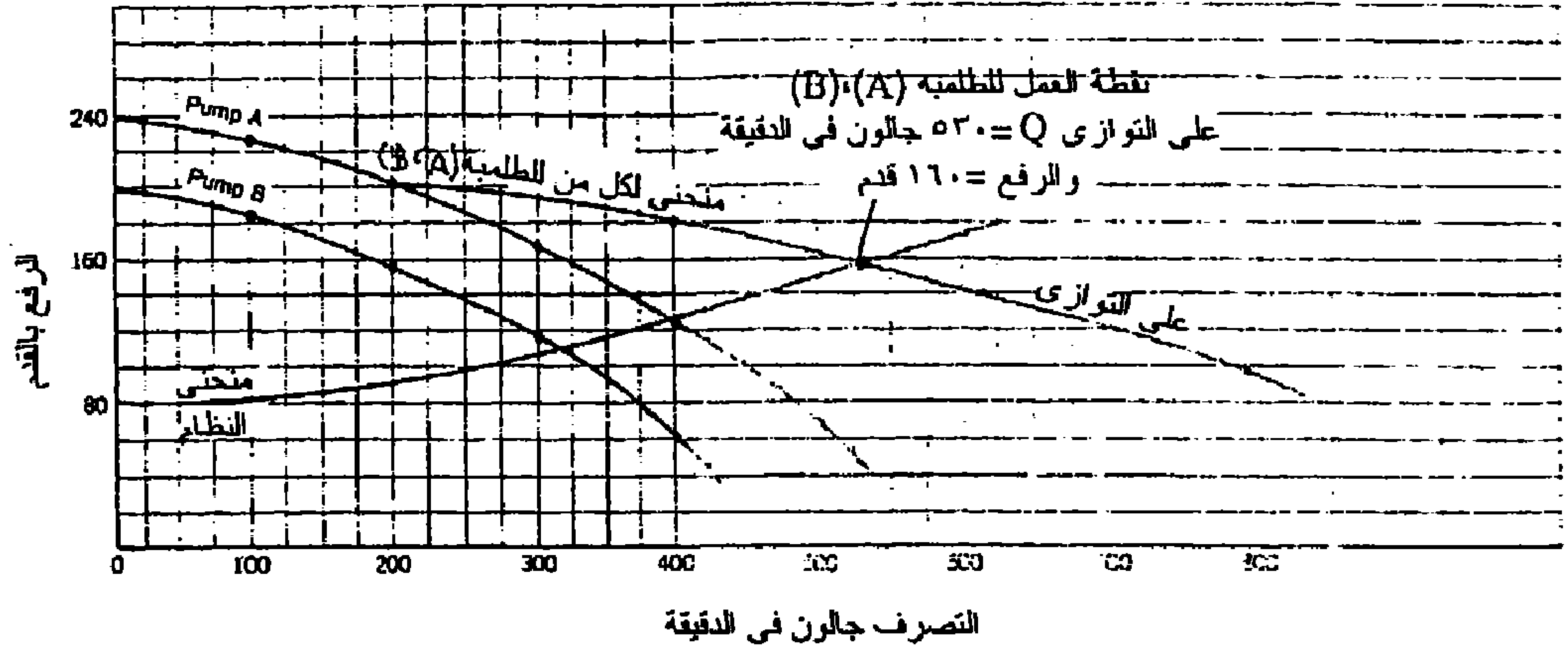
عين نقطة لتشغيل الطلمبات المتوازية فى النظام المعطى. ما هى قيمة التدفق الذى تؤديه كل طلمبة.

الحل :

أولا: يتم توقيع منحنيات ضغط التصرف لكل طلمبة منفردة من البيانات المعطاة فى الجدول (٤/٣) كما هو موضح فى الشكل (٤/٢٠).

جدول (٤/٣) بيانات تشغيل الطلمبة

التصرف جالون فى الدقيقة	إجمالى الضغط الديناميكى بالقدم	
	الطلمبة A	الطلمبة B
صفر	٢٤٠	٢٠٠
١٠٠	٢٢٥	١٨٥
٢٠٠	٢٠٠	١٥٥
٣٠٠	١٦٥	١١٥
٤٠٠	١٢٥	٦٠
٥٠٠	٦٥	-



شكل (٤/٢٠) توضيح للمثال

الآن وقع منحنى مجموع الضغط للطلمبتين العاملتين على التوازى، أصف التصرف لكل طلمبة عند قيم مختارة قليلة لمجموع الضغط الديناميكى (TDH). لاحظ أنــه عنــدما يكون مجموع الضغط الديناميكى ما بين ٢٠٠ و ٢٤٠ قدم، فإن الطلمبة (A) فقط هى التى تقوم بالصرف فى النظام، الطلمبة (B) سوف تعمل عند إجمالى الضغط الديناميكى يساوى ضغط التوقف، و Q = صفر. عندما يكون إجمالى الضغط الديناميكى أقل من ٢٠٠ قدم، فإن كلا الطلمبتين يمكن أن يساهم فى التدفق . فمثلاً، عندما يكــون إجمـــالى الــضغط الديناميكى ١٠٠ قدم فإن الطلمبة (A) تقوم بصرف ٤٥٠ جالون فى الدقيقة والطلمبة (B) تقوم بصرف ٣٣٥ جالون فى الدقيقة ولذلك فإن مجموع التصرف عند إجمالى الــضغط الديناميكى = ١٠٠ قدم سيكون ٧٨٥ جالون فى الدقيقة.

الآن وقع منحنى ضغط (رفع) النظام. الحسابات للنظام إجمالى الضغط الــديناميكى عند أربع قيم تصرف مختارة موجزة فى الجدول (٤/٤).

جدول (٤/٤) حسابات إجمالى الضغط الديناميكى للمثال السابق

Q جالون فى الدقيقة	S، متر/متر	h_L، قدم	TDH، قدم
صفر	صفر	صفر	٨٠
٢٠٠	٠,٠٠١٤	١١	٩١
٤٠٠	٠,٠٠٥٥	٤٤	١٢٤
٦٠٠	٠,٠١٢	٩٦	١٧٦

كما هو واضح من الشكل (٤/٢٠) منحنى مجموع الضغط ومنحنى النظام يتقاطعان عند Q = ٥٣٠ جالون فى الدقيقة وإجمالى الضغط الديناميكى (TDH) = ١٦٠ قدم، الذى يمثل حالة الشغل للطلمبات على التوازى.

من بين إجمالى التصرف ٥٣٠ جالوناً فى الدقيقة، الطلمبة (A) تساهم بحوالى ٣٣٠ جالوناً فى الدقيقة والطلمبة (B) تساهم بحوالى ٢٠٠ جالون فى الدقيقة.

القدرة والكفاءة : (Power and Efficiency)

المعدل الذى تصنف به الطلمبة طاقة إلى الماء هو خرج القدرة للطلمبة، يسمى قوة الماء (Water Power). الطلمبات عادة تدار بالمحركات الكهربية (عادة مع محركات تدار بالجازولين أو الديزل كإحتياطى عند الاستخدام فى حالة انقطاع التيار).

حيث أن الطلمبة (أو أى ماكينة) لا يمكن أن تعمل بكفاءة ١٠٠% فإن قوة الماء تكون دائماً أقل من الطاقة المستخدمة فى دافع الطلبة بواسطة المحرك. يمكن التعبير عن كفاءة الطلمبة كالآتى :

$$\text{الكفاءة} = \frac{\text{القوة المنتجة}}{\text{القدرة المستخدمة}} \times ١٠٠ \quad \left(\frac{Pout}{Pin} \times 100\right)$$

فى الوحدات المترية يمكن التعبير عن القوة بالكيلوات. قوة الماء، القوة المنتجة يمكن حسابها بالمعادلة الآتية

$$Pout = ٩,٨ \times Q \times TDH$$

حيث Pout = القوة المنتجة

Q = تصرف الطلمبة متر مكعب/ الثانية

TDH = الضغط الديناميكى الإجمالى بالمتر

لاحظ أن ٩,٨ هو وحدة الوزن للماء مقدرة بالكيلو نيوتن/المتر المكعب (KN/m3) والقدرة لها وحدات (KN.m/s) والتى هى الشغل فى وحدة الزمن. فى النظام المترى (1KN.m/S) يسمى واحد كيلوات (1Kw).

مثال :

تصرف طلمبة ٥٠٠ لتر فى الثانية بارتفاع ٢٥ متراً. المحرك يوفر قوة ١٥٠ كيلوات للطلمبة. ما هى الكفاءة التى تعمل عندها الطلمبة؟

الحل :

تحويل ٥٠٠ لتر/ث إلى ٠,٥ متر مكعب/ث واستخدام المعادلة المستخدمة لتقدير الكفاءة.

Pout (القوة المنتجة) = ٩,٨ × ٠,٥ × ٢٥ =– ١٢٣ كيلوات

∴ الكفاءة = ١٢٣÷ ١٥٠ × ١٠٠ = ٨٢%.   (Hp)

فى الوحدات المترية عادة يعبر عن القوة بقوة الحصان (hp) حيث واحد حصان = ٣٣٠٠٠ قدم رطل/ الدقيقة. دخل القوة لعامود إدارة الطلمبة يسمى القدرة الحصانية الفرملية (Brake Horse Power) يمكن حسابها من المعادلة الآتية.

$$Pout = \frac{Q \times TDH}{3960}$$

حيث : Q = يعبر عنها بالجالون فى الدقيقة

TDH = يعبر عنها بالقدم

القدرة الحصانية يمكن تحويلها إلى الكيلوات بالضرب فى ٠,٧٤٦ (حيث ١ حصان = ٠,٧٤٦ كيلوات).

مثال :

طلمبة طرد مركزى بكفاءة ٦٥% تصرفها ١٥٠٠ جالون فى الدقيقة فى نظام يشمل خط مواسير بطول ٣٠٠٠ قدم وبقطر ١٠ بوصة حيث (C = 100). إجمالى الضغط الاستاتيكى ١٠٠ قدم. احسب القدرة الحصانية الفرملية المطلوبة.

الحل :

أولاً، يتم تعيين إجمالى الضغط الديناميكى على الطلمبة. استخدام مخطط هازن وليام حيث Q = ١٥٠٠ جالون فى الدقيقة، القطر = ١٠ بوصة. اقرأ الميل (S) = ٠,٠٢٤..

عندئذ h_L = S × L = ٠,٠٢٤ × ٣٠٠٠ = ٧٢ قدم.

، إجمالى الضغط الديناميكى (TDH) = ١٠٠ + ٧٢ = ١٧٢قدم

الآن استخدم المعادلة

$$Pout = \frac{Q \times TDH}{3960}$$

= ١٥٠٠ × ١٧٢ ÷ ٣٩٦٠ = ٦٥ حصان

من المعادلة الكفاءة = $\frac{\text{الطاقة المنتجة}}{\text{الطاقة المستخدمة}}$ × ١٠٠

∴ الطاقة المنتجة $\frac{\text{الطاقة المستخدمة}}{\text{الكفاءة}}$ × ١٠٠

= $\frac{٦٥}{٦٥}$ × ١٠٠ = ١٠٠ حصان

مثال :

الكفاءة الكلية للطلمبة والمحرك هى ٥٠% قوة الحصان للماء هى ١٥٠ كيلوات (150 KW). إذا كانت تكاليف الطاقة الكهربية ٠,١٥ دولار للكيلوات ساعة (KW.h) كم تكون تكلفة تشغيل الطلمبة لمدة ٨ ساعات؟

الحل :

استهلاك الطاقة الكهربية هو ١٥٠ ÷ ٥٠ × ١٠٠ = ٣٠٠ كيلوات.

عند التشغيل لمدة ٨ ساعات فإن استهلاك الطاقة يكون

٣٠٠ كيلوات × ٨ ساعات = ٢٤٠٠ كيلوات. ساعة

تكاليف التشغيل هى :

٢٤٠٠ كيلوات ساعة × ٠,١٥ = ٣٦٠ دولار

التشغيل والصيانة : (Operation and Maintenance)

يجب اتباع طرق التشغيل والصيانة الصحيحة للحصول على أداء جيد من طلمبات الطرد المركزى. عاملان هامان بالنسبة للتشغيل والصيانة وهما المحافظة على نظافة محطة الطلمبات والمحافظة على التزليق المناسب للطلمبة. الطلمبات الموجودة فى محطة

طلمبات غير نظيفة لا يمكن أن تعمل بكفاءة. صفائح الزيوت والشحوم يجب أن تكون مغطاة وخالية من القاذورات. الوساخات فى زيوت وشحوم التزليق بسبب البلى الناتج عن الاحتكاك (Wear) على كراسى التحميل للطلمبة ويقلل من عمرها. يجب اتباع توصيات المنتج بالنسبة للتزليق الصحيح. من المهم عدم التزليق الزائد لكراسى تحميل الطلمبة حيث الشحوم الزائدة تسبب التلف.

الدافع الدوار هو الجزء المتحرك الوحيد فى غلاف الطلمبة. كراسى الدفع وكراسى التوجيه تحمل عامود الإدارة الذى يحمل الدافع. تستخدم جلبة الحشو حيث يبرز عامود إدارة الطلمبة من غلاف الطلمبة لمنع تسرب الهواء إلى الداخل أو تسرب الماء إلى الخارج. تتكون جلبة الحشو عادة من العديد من حلقات الاسبستوس المنقوع بالجرافيت حول عامود الإدارة. هذه الحلقات يمكن ضغطها (لتحمل ضد عامود الإدارة)، الجرافيت يوفر بعض التزليج. من المهم جداً أن تكون جلب الحشو فى وضع صحيح وليست زائدة الانضغاط. أثناء التشغيل قليل من الماء الذى يتسرب خارج غلاف الطلمبة يكون مطلوباً للمحافظة على استمرار برودة جلبة الحشو.

طلمبات الطرد المركزى يلزم تحضيرها أو ملئها بالماء عند بدئها، كلاً من غلاف الدافع (Gasing) وماسورة السحب يجب أن يكونا خاليان من الهواء. عند وضع الطلمبة فوق منسوب سطح الماء على جانب السحب، يمكن استخدام الطلمبة الكهربية أو التى تعمل يدوياً لتحضير طلمبة الطرد المركزى. يصمم محبس القدم للمحافظة على ملء الطلمبة وماسورة السحب بالماء عند توقف الطلمبة عن العمل، ولكن فى حالة وجود تسرب فى محبس القدم ولو قليلاً فإن الطلمبة تفقد تحضيرها. الوضع المثالى هو أن تكون الطلمبة أسفل سطح الماء بحيث تكون دائماً فى حالة تحضير.

عند بدء تشغيل الطلمبة فإن محبس السحب يجب أن يكون مفتوحاً ومحبس الصرف مقفلاً. ثم يتم البدء فى فتح محبس الصرف ببطء عند وصول المحرك إلى سرعته. فى حالة عدم ملاحظة تنقيط أو تسرب مياه من جلبة الحشو فإن الحشو يمكن أن يكون محكماً جداً بما يسبب حدوث احتكاك على عامود الإدارة، يتم ضبط جلبة الحشو قبل السماح باستمرار العمل.

قبل إيقاف طلمبة الطرد المركزى، يجب قفل محبس الصرف ببطء. فى حالة القفل السريع للمحبس أو فى حالة التوقف المفاجئ للطلمبة تحدث حالة تسمى المطرقة المائية (Water Hammer). المطرقة المائية تشير إلى موجة الضغط أو موجة الاضطراب التى

تسير خلال خط المواسير. الضغط اللحظى للمطرقة المائية يكون عادة مرتفعاً بما يسبب التدمير للماسورة أو لغلاف الطلمبة. التفتيش اليومى على الطلمبات فى الخدمة يعتبر شديد الأهمية لمراجعة زيادة السخونة، الصوت، أو تسرب جلبة الحشو. الطلمبة المنشأة جيداً، لا يحدث بها أى اهتزازات. الاهتزاز هو دلالة لعدم الاستقامة بين المحرك والطلمبة، والذى سوف يسبب البرى والبلى والتلف لمجموعة الطلمبة. فى حالة ملاحظة الاهتزاز فإنه يجب مراجعة طريقة المنتج نحو طرق الاستقامة والتجاوزات.

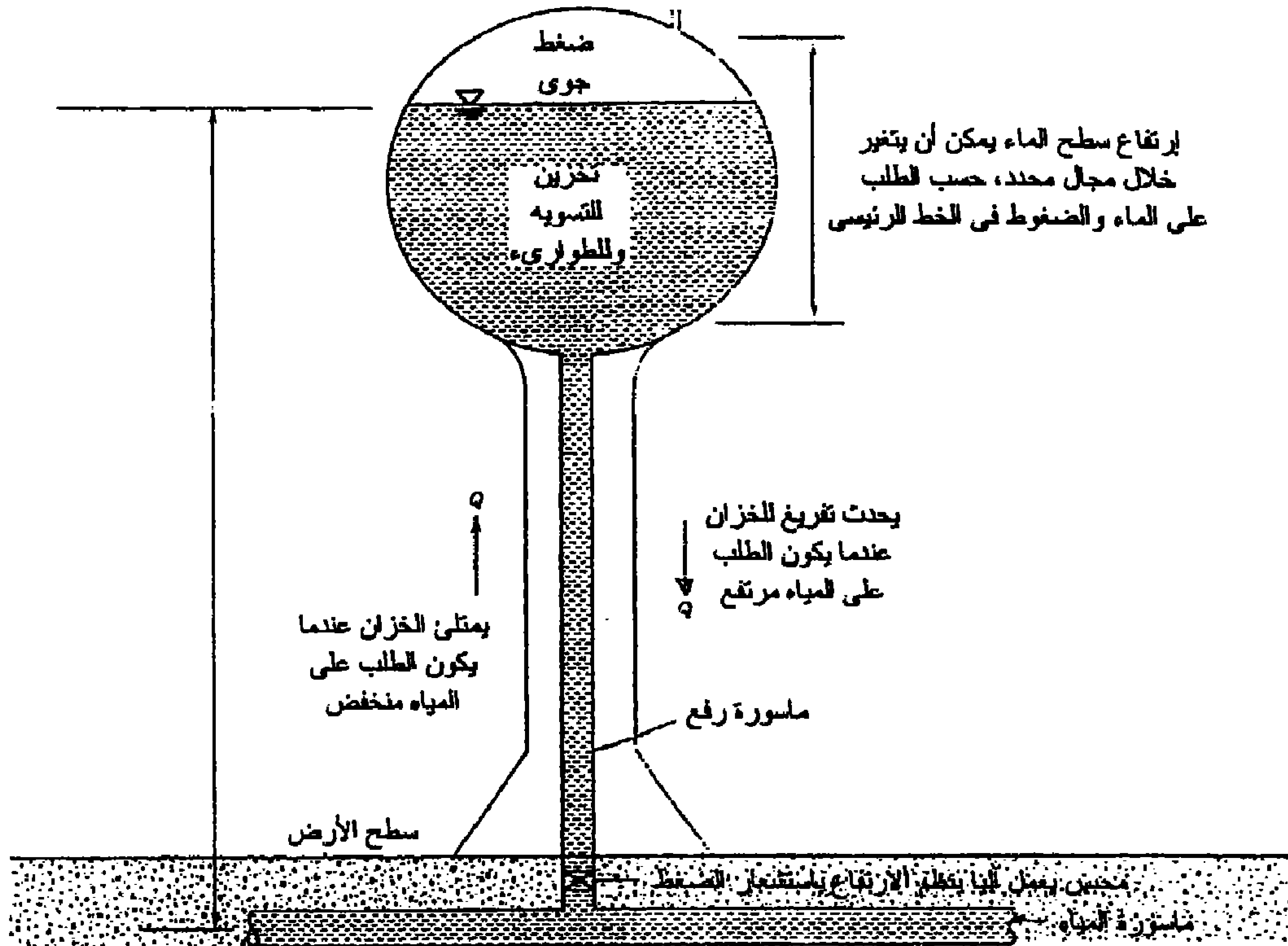
٤- توزيع التخزين : (Distribution Storage)

خزانات المياه العلوية هى من المناظر المألوفة فى معظم المجتمعات. هذه الخزانات الصغيرة نسبياً تؤدى غرضين أساسيين. فهى توفر تسوية التخزين (Equalizing Storage) كما توفر تخزين الطوارئ (Emergency Storage). وهى تسمى خزانات تخزين وتوزيع المياه ذلك لأنها جزء من نظم التوزيع المحلية. خزانات كبيرة تسمى خزانات الحفظ (Conservation Reservoirs) توضع عادة على مسافة كبيرة من شبكة التوزيع ويعنى بها تخزين المياه التى يمكن استخدامها أثناء فترة المناخ الجاف الطويل.

تسوية التخزين يعنى به حجم الماء فى الخزان المتاح لتوفير متطلبات ساعات الذروة فى استخدامات المياه. التغير من ساعة لأخرى فى الطلب على الماء موضح فى الشكل (٤/٢١). أثناء ساعات الليل المتأخرة وساعات الصباح المبكرة عندما يكون الطلب على الماء قليلا جداً، فإن طلمبة الرفع العالى ترفع الماء فى خزانات شبكة التوزيع. أثناء النهار عندما يزداد الطلب على الماء عن متوسط الطلب اليومى، فإن المياه تتدفق من خارج الخزانات للمساعدة فى تحقيق متطلبات ساعات الذروة للمجتمع.

خزانات حفظ وتوزيع المياه (Distribution Storage Tanks) توصف دائماً كأنها تطفو على خط المواسير (Floating Online). وهذا يعنى أن التدفق إلى الخزان أو خارج الخزان يتغير مباشرة طبقاً للطلب على المياه فى الشبكة، والضغط الهيدروستاتيكى فى خطوط المواسير يكافئ الضغط الرأسى أو ارتفاع المياه فى الخزان. خزان الحفظ والتخزين موضح فى الشكل (٤/٢١). محبس التحكم الآلى فى الارتفاع يمكنه المحافظة على ارتفاعات المياه، وبالتالى ضغط الماء فى الشبكة خلال المجال المطلوب.

التأثير المتوسط أو المتساوى على معدلات التدفق التى توفرها مياه التخزين تسمح بانتظام وثبات معالجة المياه ومعدل الضخ.



شكل (٤/٢١) خزان المياه العلوى سوف يطفو على الخط فى شبكة توزيع المياه

عندما يقل الطلب على الماء، فإن الماء الزائد الذى يتم ضخه يملأ الخزان، وعندما يزيد الطلب على المياه عن معدل الضخ، فإن الخزانات يتم تفريغها لتعويض الفرق. هذا يحقق ميزة لخفض الأقطار والطاقة للمواسير والطلمبات ومحطات المعالجة بما ينتج عنه خفض فى تكاليف الإنشاء والتشغيل.

عموماً حجم المياه المطلوب ليعادل أويساوى تدفقات ساعات الذروة هو حوالى ٢٠% من متوسط استهلاك المياه اليومى فى المنطقة المخدومة. فمثلاً، إذا كان متوسط احتياجات التجمع السكنى من المياه هو مليون لتر فى اليوم، عندئذ لا يقل عن ٠,٢ مليون لتر أو ٢٠٠٠٠٠ لتر من حجم التخزين يجب توفيرها لأغراض التسوية. فى المجتمعات حيث التسجيلات المناسبة لاستخدام المياه واحتياجات المياه تكون متاحة، يمكن استخدام مخطط تجميع المياه لزيادة دقة تعيين حجم التسوية المطلوب فى الخزان الجديد. خزانات الحفظ والتوزيع لا يتم إنشاءها فقط بغرض تسوية التخزين حيث يتم توفير حجم تخزين طوارئ بهذه الخزانات. وهذا يوفر مياه إضافية لاحتياجات مقاومة الحريق، والتغلب على مشاكل كما فى حالة توقف مصدر الطاقة أو حدوث تلفيات فى محطة الطلمبات.

كمية المياه اللازمة لمقاومة الحريق تختلف طبقاً لظروف المنطقة المخدومة وطاقة محطة ضخ المياه. فمثلاً، إذا كان التخزين لتدفقات مقاومة الحريق هو ٣٠ لتر فى الثانية لمدة ساعتين فإن الحجم المطلوب يكون ٣٠ لتر فى الثانية × ٣٦٠٠ ثانية فى الساعة × ٢ ساعة = ٢١٦٠٠٠ لتر = ٢١٦ متراً مكعباً. هذا الحجم يتم إضافته إلى الحجم المطلوب لأغراض التسوية لتعيين إجمالى حجم الخزان. إذا كان المطلوب ٢٠٠٠٠٠ لتر لتسوية التخزين والمطلوب ٢١٦٠٠٠ لتر لمقاومة الحريق فإن أدنى حجم للخزان يكون ٤١٦٠٠٠ لتر أو ٤١٦ متراً مكعباً.

فى حالة عدم توفر مولد كهربائى أو ماكينة ديزل للطوارئ فى محطة طلمبات مياه الرفع العالي، قد يكون من الضرورى توفير خزان تخزين إضافى بحيث كلا من متطلبات المياه المنزلية ومتطلبات الطوارئ لمقاومة الحريق يمكن توفيرها أثناء التوقف المؤقت لمصدر الطاقة. للتوفيق بين كل طلبات التوزيع هذه، يمكن ببساطة العمل على أن يكون حجم التخزين يساوى متوسط متطلبات المياه اليومية، باستثناء التأكد ببيانات متاحة أن الحجم الأصغر سوف يكون كافياً.

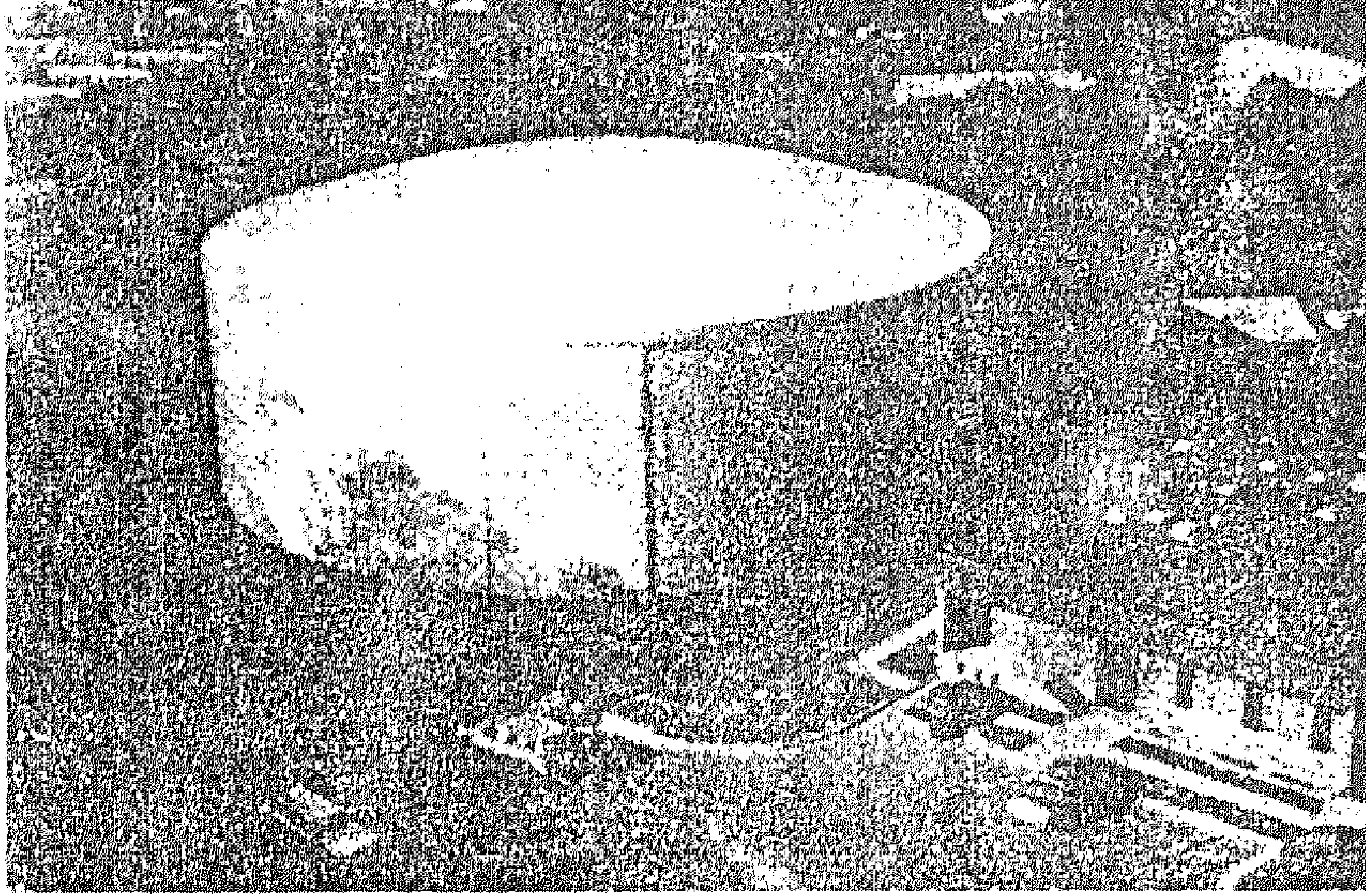
أنواع خزانات التوزيع : (Types of Distribution Reservoirs)

خزانات التوزيع تقوم بتخزين المياه لمدة زمنية قصيرة (لمدة يوم واحد أو أقل) وهى تكون صغيرة بما يمكن من تغطيتها لمنع حدوث التلوث وخفض البخر. فى المناطق حيث الطبوغرافية المستوية تكون خزانات التخزين مرتفعة عن سطح الأرض على أبراج لتوفير الضغط المناسب فى شبكة التوزيع. هذه الخزانات المرتفعة عادة تصنع من الصلب.

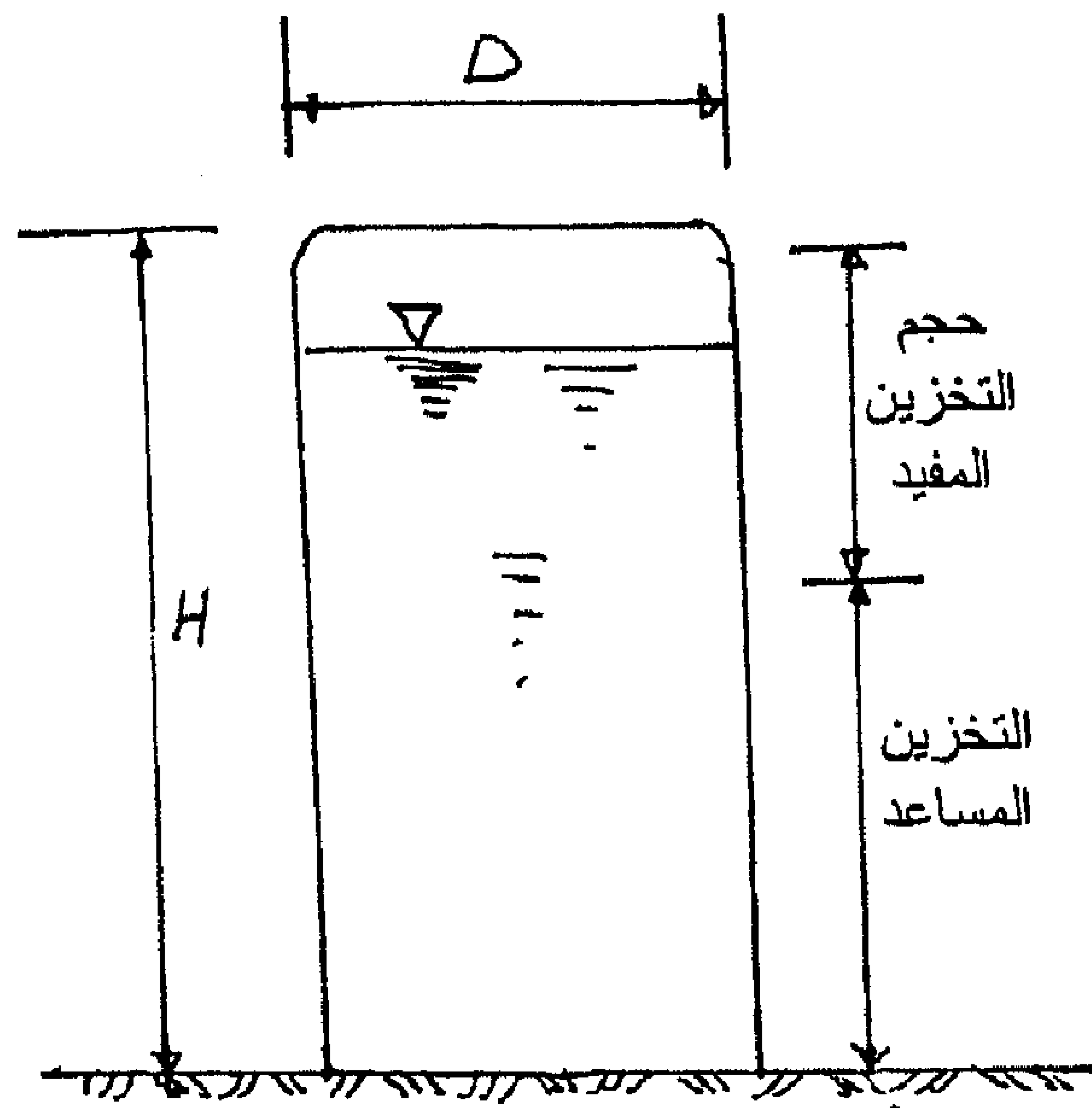
فى المناطق حيث تتوفر التلال، يمكن بناء خزان التوزيع عند مستوى سطح الأرض على قمة التل أعلى من المنطقة المخدومة ويظل طافياً على الخط ومحافظاً على الضغط المناسب فى الشبكة.

وهذه يمكن أن تنشأ أما من الصلب أو من الخرسانة المسلحة. نموذج لخزان توزيع على مستوى سطح الأرض موضح فى الشكل (٤/٢٢). عندما يكون ارتفاع خزان التخزين أكبر من قطره، فإن المنشأ يسمى الماسورة القائمة (Stand Pipe) كما هو موضح فى الشكل (٤/٢٣). خزانات الماسورة القائمة توفر طاقة تخزين أكبر من الخزانات العلوية. ولكن طاقة التخزين التى تفيد فى أغراض التسوية هى فقط ذلك الحجم فوق الارتفاع اللازم لأدنى ضغط فى الخط الجديد. الماء أسفل هذا الارتفاع يمكن استخدامه

لمقاومة الحريق باستخدام عربات الحريق المجهزة بالطلمبات أو أثناء حـالات طارئـة أخرى. تنشأ خزانات الماسورة القائمة من الصلب، حيث جدران الخزان تكون أكثر سمكا عند القاع لتحمل الضغط الهيدوليكى.



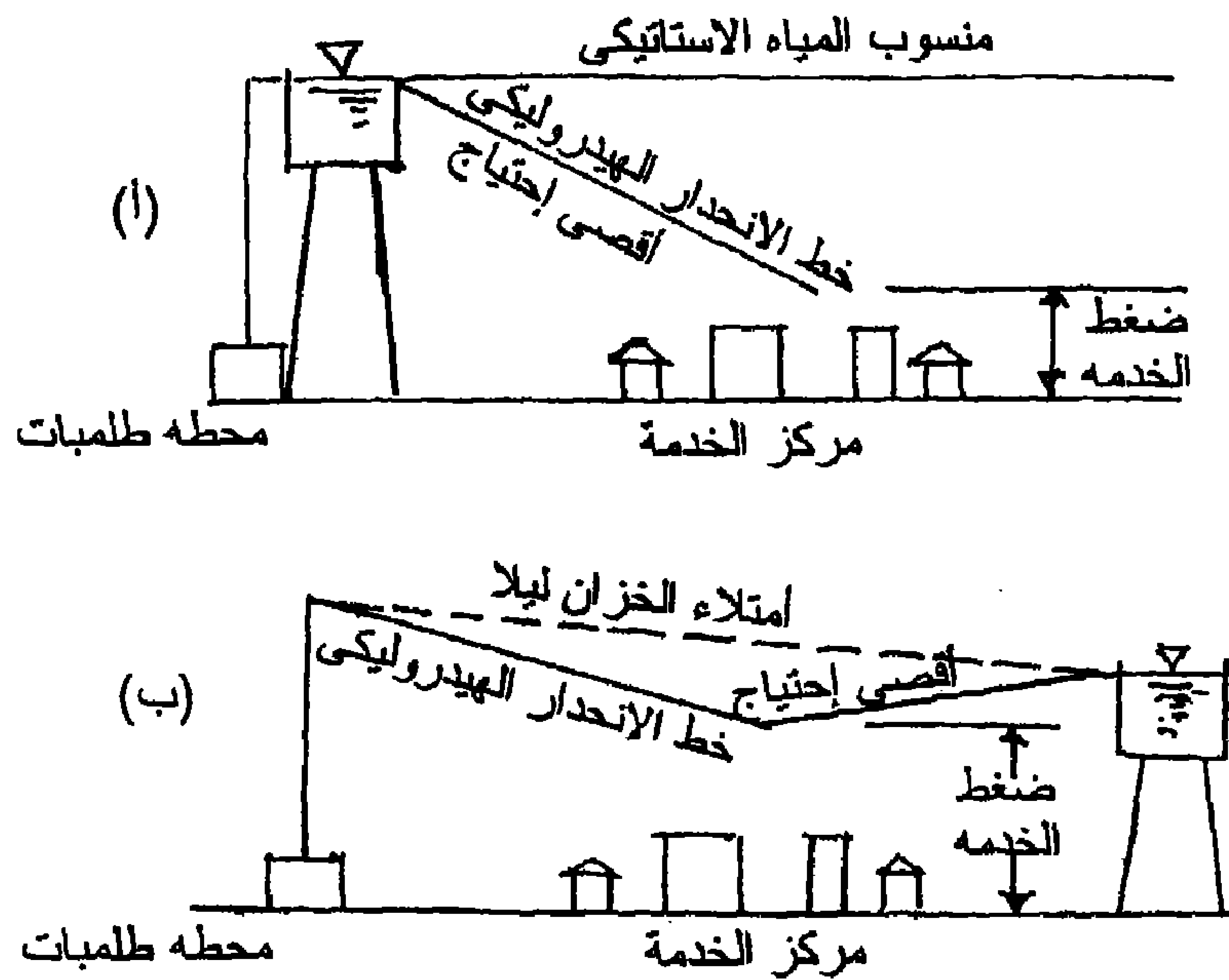
شكل (٤/٢٢) توزيع على منسوب الأرض



شكل (٤/٢٣) خزان المياه يسمى الماسورة القائمة عندما يكون ارتفاعه أكبر من قطره (H > D).

مكان خزانات التخزين : (Location of Storage Tanks)

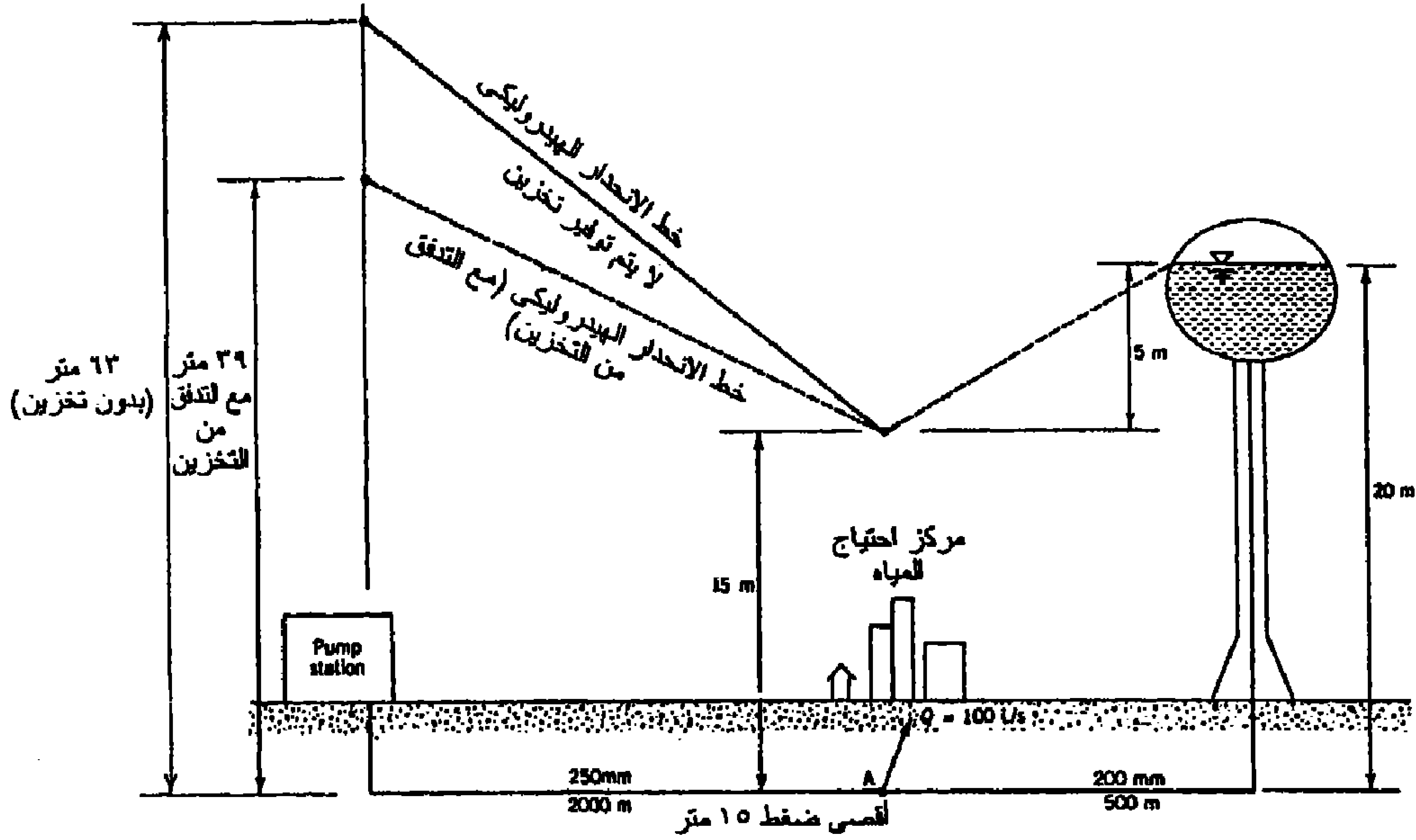
إن استخدام العديد من خزانات التخزين الصغيرة قريباً من معظم مراكز سحب المياه يفضل عن استخدام خزان واحد ضخم قريباً من محطة الضخ. كذلك، يكون من المفضل وضع الخزانات على الجانب المقابل لمركز الاحتياج من محطة الضخ. وهذا يوفر ضغوط أكثر انتظاما خلال شبكة التوزيع، كما هو موضح فى الشكل (٤/٢٤). وكذلك يسمح باستخدام مواسير ذات قطر أقل وكذلك طلمبات. المثال الآتى يوضح الحسابات الهيدروليكية اللازمة وتأثير التخزين على ضغط التصرف المطلوب عند محطة الضخ.



شكل (٤/٢٤) مكان خزانات التوزيع يفضل أن يكون عكس المصدر (ب) مقارنة بالمكان عند المنبع (أ).

مثال :

إذا كان المطلوب فى ساعات الذروة هو ١٠٠ لتر فى الثانية عند النقطة (A) فى الشكل (٤/٢٥). وأن الضغط عند هذه النقطة يجب ألا يقل عن ١٥٠ كيلو بار. عين (أ) الضغط المطلوب عند محطة الضخ إذا كانت الاحتياجات يتم توفيرها بدون أى خزان توزيع، و (ب) الضغط الرأسى المطلوب عند الطلمبات فى حالة استخدام خزان التوزيع ليساعد فى تلبية احتياجات الذروة بالطفو فوق الخط على ارتفاع ٢٠ مترا كما هو موضح.



شكل (٤/٢٥) توضيح للمثال

الحل :

(أ) احسب الانخفاض فى الضغط من محطة الضخ إلى نقطة السحب، كالآتى :

بالنسبة للتصرف Q = ١٠٠ لتر/ث، القطر D = ٢٥٠ مليمتر، اقرأ S (الميل) = ٠,٠٢٤ على مخطط هازن- وليام (الفصل ٢ شكل ١٥). احسب $h_L = S \times L$ = ٠,٠٢٤ × ٢٠٠٠ = ٢٤متر عند النقطة (A) يجب ألا يقل الضغط عن ٥٠ كيلو بار باستخدام المعادلة ($h = \frac{P}{9.8} = 0.1 \times P$) (الفصل ٢) نلاحظ أن ١٥٠ كيلوبار تكافئ ٠,١ × ١٥٠ أو ١٥ متر من الضغط الرأسى. حيث أن التدفق يحدث فى اتجاه ميل خط الانحدار الهيدروليكى (HGL) فإن ٤٨ متر الفقد فى الضغط يجب إضافتها إلى الـ ١٥ متر أدنى ضغط رأسى مطلوب عند النقطة (A). خط الانحدار الهيدروليكى موضح فى الشكل (٤/٢٥). الضغط الرأسى يكون عندئذ ٤٨ + ١٥ = ٦٣ متر، وباستخدام المعادلة (٢/٢-أ الفصل الثانى) وهى $P = 9.8 \times h$ (حيث P = الضغط الهيدروستاتيكى كيلوبار، h = عمق الماء من السطح بالمتر).

فإننا نجد أن الضغط المطلوب عند محطة الضخ هو

P = ٩,٨ × ٦٣ = ٦٢٠ كيلو بار.

(ب) فى هذا الجزء من المثال يكون خزان الحفظ مشاركاً فى التدفق إلى نقطة السحب. الفقد فى الضغط فى ٥٠٠ متر من خط المواسير هو ٢٠ − ١٥ = ٥ متر. ميل خط الانحدار الهيدروليكى يكون عندئذ ٥ ÷ ٥٠٠ = ٠,٠١، ومن مخطط هازن وليام حيث D = ٢٠٠ مليمتر، S = ٠,٠١ اقرأ Q = ٣٢ لتر/ث.

حيث أن إجمالى السحب مازال ١٠٠ لتر/ث، فإن التدفق من محطة الضخ يجب أن يكون ١٠٠ − ٣٢ = ٦٨ لتر/ث. من مخطط هازن وليام، مع Q = ٦٨ لتر/ث، D = ٢٥٠ مليمتر، اقرأ S = ٠,٠١٢. الفقد فى الضغط بين محطة الضخ والنقطة (A) يكون عندئذ h_L = ٠,٠١٢ × ٢٠٠٠ = ٢٤ متر، الضغط الرأسى المطلوب عند محطة الضخ يكون عندئذ ١٥ + ٢٤ = ٣٩ متر، الضغط المطلوب يكون P × ٩,٨ × ٣٩ = ٣٨٠ كيلوبار. يلاحظ من هذا المثال أن الطاقة المطلوبة للطلمبة تنخفض من ١٠٠ لتر/ث عند ضغط تصرف ٦٢٠ كيلوبار إلى طاقة ٦٨ لتر/ث عند ضغط ٣٨٠ كيلو بار عند تحقيق متطلبات ساعات الذروة جزئياً من خزان تخزين التوزيع.

الصيانة : (Maintenance)

يتم التفتيش الدورى على الخزانات، حيث يتم إصلاح التسرب والشقوق مع المحافظة على نظافة فتحات تصريف الهواء. انسداد فتحات تصريف الهواء يمكن أن تسبب الضغط الزائد أو التفريغ فى الخزان، والذى يمكن أن ينتج عنه تلف تدميرى.

يتم تفريغ الخزان ونظافته وتطهيره دورياً. تراكمات الطمى يتم إزالتها. أحياناً يلزم دهان السطح الداخلى للخزان الصلب بواسطة البيتومين أوالفينيل. كل آثار الصدأ يتم إزالتها.

التطهير يمكن تنفيذه برش حوائط الخزان الداخلية بمحلول كلور بتركيز ٥٠٠ ملجرام/لتر.

تآكل الخزان الصلب يعتبر مشكلة رئيسية. يمكن فقد حوالى ١٠ كيلوجرام (٢٢ رطل) من الصلب فى العام بسبب التآكل. بالإضافة إلى حماية الصلب بطبقة من البيتومين فانه تستخدم أحياناً الحماية الكاثودية. التآكل يشمل تدفق التيار الكهربى خلال الماء فى شكل أيونات معدن موجبة الشحنة. فى الحماية الكاثودية، يظل المحافظة على الجهد فى الخزان الذى يعمل على تغيير اتجاه التيار. هذا الجهد المستخدم يحافظ على المعدن من

التأين وبذا يمنع حدوث التآكل. نظام الحماية الكاثودية يجب تصميمه بواسطة متخصصين لكل خزان.

٥- التدفق فى شبكة المواسير : (Flow in Pipe Network)

شبكات توزيع المياه وخاصة تلك التى تخدم المدن المزدحمة بالسكان، تتكون من شبكة معقدة من المواسير المتقاطعة ولوازمها. الظروف الهيدروليكية فى هذه الشبكات يلزم تحليلها لتعيين طاقات التدفق والضغوط فى مصادر التغذية الرئيسية والثانوية وعند النقط ذات السحب الكافى من المياه.

قد يكون من المناسب أولا تبسيط أو اختصار النظام باستبدال المواسير الكثيرة الصغيرة بالمواسير المكافئة لتقليل عدد الدوائر والتقاطعات. يتم ذلك بالتفهم النظرى، المواسير الموجودة لا يتم استبدالها الحقيقى فى الشوارع. بعد اختصار شبكة التوزيع، يمكن استخدام طرق تحليل الشبكة لدراسة هيدروليكا النظام. الدراسات من هذا النوع تتم للتخطيط نحو إمكانيات التوسع أو التطوير لشبكة الإمداد بالمياه.

فى هذا البند سيتم تناول التقنيات الهيدروليكية الأساسية لتعيين المكافئ الهيدروليكى للمواسير ولتحليل شبكة توزيع المياه.

المواسير المتكافئة : (Equivalent Pipes)

الماسورة المكافئة هى تلك الماسورة التى لها نفس الخواص الهيدروليكية مثل المواسير التى تستبدلها نظريا. بمعنى آخر، بالنسبة لأى معدل تدفق. الخفض فى الضغط خلال الماسورة المكافئة هو نفسه مثل كل الخفض فى الضغط خلال المواسير الأصلية. وبالنسبة لأى نظام على التوالى أو على التوازى، لا يوجد حد للجمع النظرى لأقطار وأطوال المواسير للماسورة المكافئة. عادة يتم أولا إما توصيف القطر (أو الطول) ثم عندئذ يتم تعيين الطول (أو القطر) للتكافؤ الهيدوليكى.

المواسير على التوالى : (Pipes in Series)

الخطوات الخمسة الآتية تلخيص لطريقة تعيين الماسورة المكافئة لاستبدال عدد مختلف من المواسير متصلة نهاية بنهاية.

الخطوة (١) :

افتراض أى معدل تدفق (Q). يتم اختيار معدل التدفق خلال مجال استخدام مخطط هازن وليام الشكل (٢/١٥).

الخطوة (٢):

باستخدام المخطط ارسم على كلا من (Q) معدل التدفق والقطر (D) لكل مقطع من المواسير الأصلية. اقرأ الميل (S) واحسب الفقد فى الضغط $L \times S = hL$ لكل مقطع، حيث (L) هى طول المقطع.

الخطوة (٣) :

يتم إضافة الفقد فى الضغط لكل المقاطع على التوالى لتعيين الفقد الكلى فى الضغط للتصرف الذى تم افتراضه فى خط المواسير. (H_L)

الخطوة (٤) :

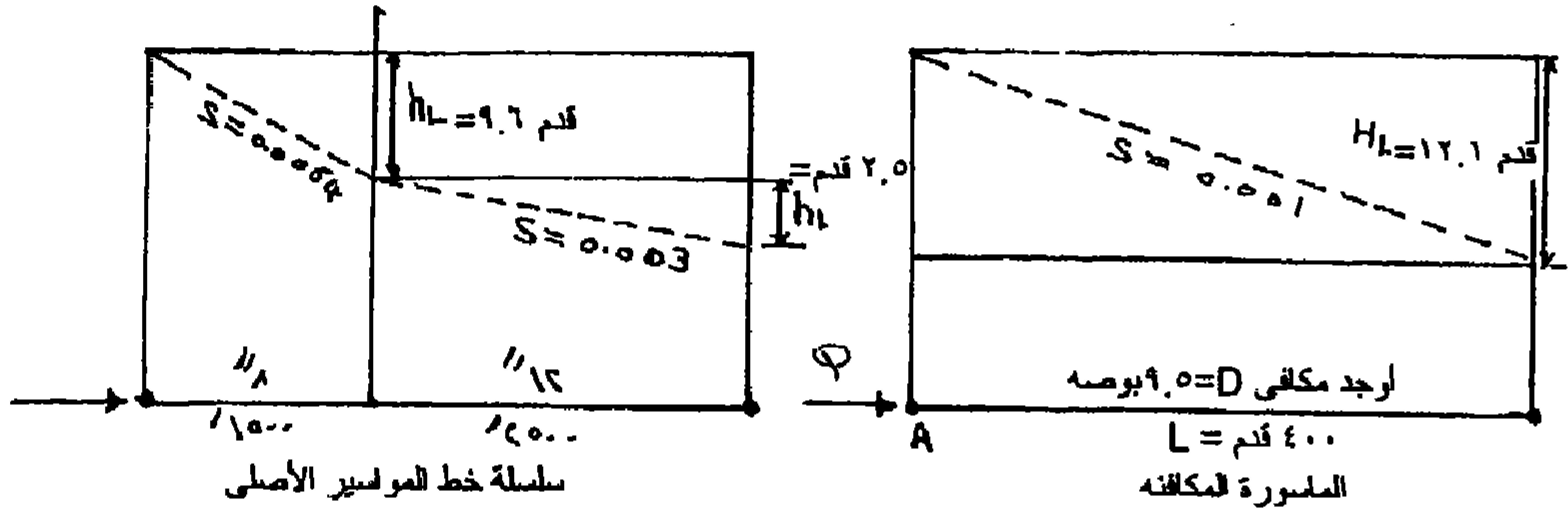
حول الفقد الكلى فى الضغط (HL) إلى التدرج الهيدروليكى الكلى $L` \div HL = S`$ حيث `L = الطول الكلى الموصف للماسورة المكافئة.

الخطوة (٥) :

استخدم المخطط ثانيا مع قيمة (Q) المفترضة وقيمة `S المحسوبة، اقرأ القيمة المطلوبة للقطر (D) للماسورة المكافئة.

مثال :

خط مواسير على التوالى موضع فى الشكل (٤/٢٦). يتكون من ماسورة بطول ١٥٠٠ قدم وقطر ٨ بوصات من النقطة (A) إلى النقطة (B)، ٢٥٠٠ قدم لماسورة بقطر ١٢ بوصة من النقطة (B) إلى النقطة (C). عين القطر المكافئ لخط مواسير واحد بطول ٤٠٠٠ قدم من (A) إلى (C) الذى يمكن نظرياً استبدال المواسير (AB) ، (BC).



شكل (٤/٢٦) توضيح للمثال

الحل :

الخطوة (١) : افترض معدل تدفق Q = ٤٥٠ جالون فى الدقيقة.

الخطوة (٢)

بالنسبة للمقطع AB، علم فى مخطط هزن ولیام Q = ٤٥٠ جالون فى الدقيقة، D = ٨ بوصة. ثم اقرأ (S) = ٠,٠٠٦٤ تقريباً. احسب hL = S × L = ٠,٠٠٦٤ × ١٥٠٠ قدم = ٩,٦ قدم. بالمثل بالنسبة للمقطع BC، علم Q = ٤٥٠ جالون فى الدقيقة والقطر = ١٢ بوصة ثم اقرأ (S) = ٠,٠٠١ ثم احسب

h_L = ٠,٠٠١ × ٢٥٠٠ = ٢,٥ قدم

الخطوة (٣) :

احسب إجمالى الفقد فى اضغط من A إلى C كالآتى :

H_L = ٩,٦ + ٢,٥ = ١٢,١ قدم

الخطوة (٤) :

أحسب التدرج الهيدروليكى الكلى من A إلى C كالأتى :

S` = ١٢,١ ÷ ٤٠٠٠ = ٠,٠٠٣.

الخطوة (٥)

الآن علم خط Q = ٤٥٠ جالون فى الدقيقة، S` = ٠,٠٠٣ على المخطط اقرأ D = ٩,٥ بوصة.

الماسورة المكافئة في هذا المثال هي تلك ذات قطر ٩,٥ بوصة وطول ٤٠٠٠ قدم (قراءة المخطط تقريبية).

لاحظ أن القطر المكافئ ٩,٥ بوصة في المثال السابق ليس ببساطة هو المتوسط الموزون للقطرين الأصليين A إلى B، B إلى C. فهو القطر لطول ٤٠٠٠ قدم لماسورة الذى له نفس الخواص الهيدروليكية مثل المواسير الأصلية ٨ بوصات، ١٢ بوصة. المواسير الأصلية يمكن كذلك استبدالها بطول ٣٠٠٠ قدم مكافئ لماسورة بقطر ٨,٩ بوصة، بطول ٢٠٠٠ قدم لماسورة ٨,١ بوصة وهكذا، يوجد عدد غير محدود من المواسير المكافئة لأى نظام فى شبكة التوزيع.

بالنسبة للمثال السابق، إذا كان معدل التدفق بخلاف Q = ٤٥٠ جالون فى الدقيقة ثم افتراضه فى الخطوة رقم (١)، فإنه سيتم الحصول على نفس الإجابة النهائية ٩,٥ بوصة للقطر المكافئ. حاول نفس المثال مع افتراض Q = ١٠٠٠ جالون فى الدقيقة أو أى معدل تدفق آخر، لإثبات ذلك.

المواسير على التوازى : (Pipes in Parallel)

طريقة تعيين الماسورة المكافئة لاستبدال الشكل الحلقى للمواسير تختلف إلى حد ما عن الطريقة السابقة للمواسير على التوالى. الخطوات السبع الآتية توضح الطريقة لنظام المواسير المتوازية أو فى شكل مستدير (شكل ٤/٢٧).

الخطوة (١) :

افترض الفقد الكلى فى الضغط H_L عبر الدائرة من اتصال الماسورة الأولى عند A إلى اتصال الماسورة الثانى عند B. هذا الفقد فى الضغط المفترض يجب أن يكون نفسه لكل من الفرع العلوى والفرع السفلى للحلقة، حيث أن الضغوط عند نهايات كل ماسورة هى نفسها عند الاتصال.

الخطوة رقم (٢):

بالنسبة للفرع AIB ، احسب $S = H_L \div L$، حيث L هو طول AIB.

الخطوة رقم (٣) :

استخدم مخطط هازن وليام مع S , D لفرعة AIB، عين Q_I فى هذه الفرعة.

الخطوة رقم (٤) :

كرر الخطوة (٢) ، (٣) للفرعة AIIB لتعيين Q_{II} .

الخطوة رقم (٥):

احسب معدل التدفق الكلى Q الداخل الوصلة A، حيث $Q = Q_I + Q_{II}$

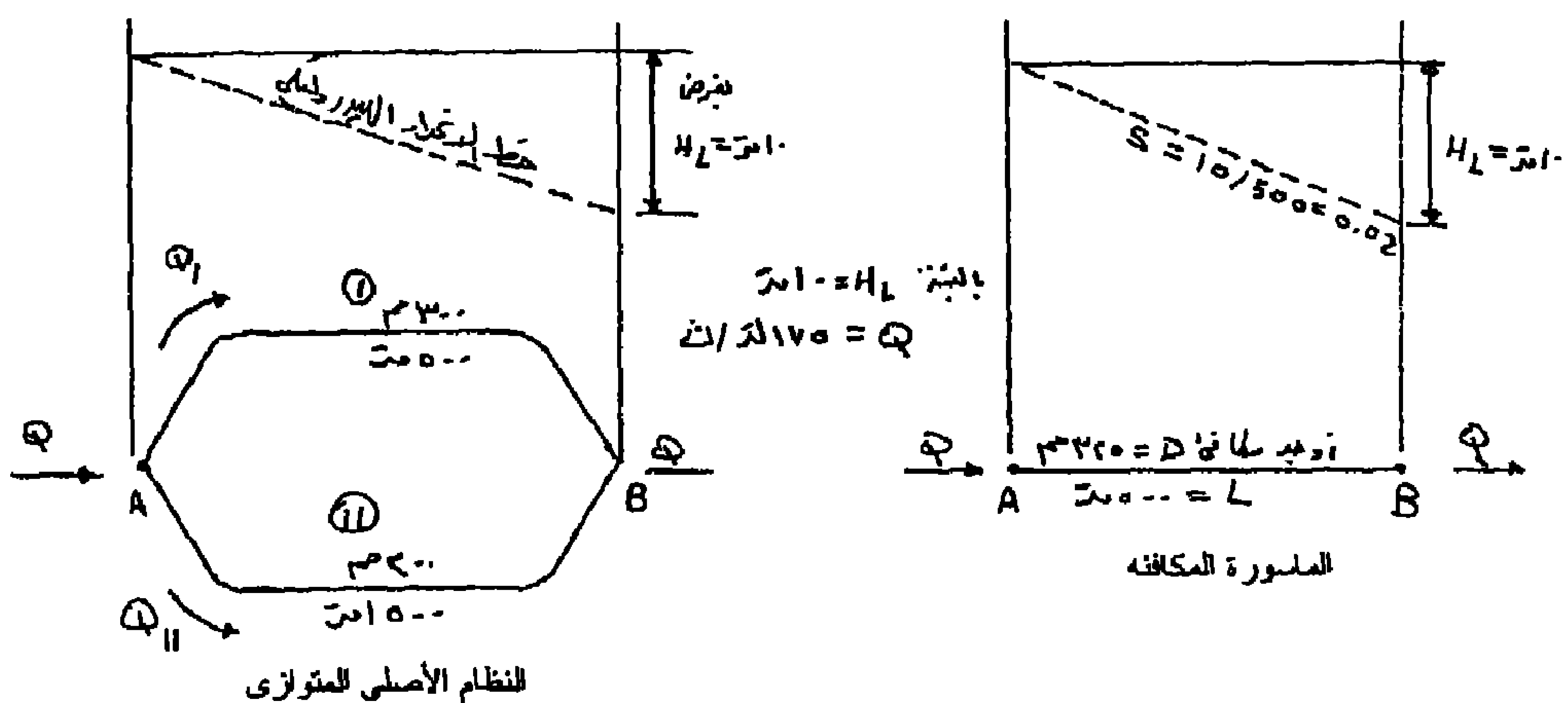
الخطوة رقم (٦) :

عين التدرج الهيدروليكى الكلى `S كالآتى :

$S` = H_L \div L`$ المفترض حيث `L هو الطول الموصف للماسورة المكافئة.

الخطوة رقم (٧) :

استخدم مخطط هازن– وليام مع Q , `S لتعيين القطر المكافئ D.



شكل (٤/٢٧) توضيح للأمثلة

مثال :

خطان من المواسير متصلان على التوازى من الاتصال A إلى الاتصال B كما هو موضح فى الشكل (٤/٢٧). الفرع AIB يتكون من ماسورة بطول ٥٠٠ متر وبقطر ٣٠٠ مليمتر، والفرع AIIB يتكون من ماسورة بطول ١٥٠٠ متر وبقطر ٢٠٠ مليمتر. عين القطر المكافئ لخط مواسير مفرد بطول ٥٠٠ متر A إلى B الذى يمكن أن يستبدل الحلقة المعطاة.

الحل :

الخطوة (١) : افترض أن H_L = ١٠ متر

الخطوة (٢) :

بالنسبة للفرع AIB ، S = ١٠ ÷ ٥٠٠ = ٠,٠٢

الخطوة (٣) :

من مخطط هازن وليام مع D = ٣٠٠ مليمتر، S = ٠,٠٢ اقرأ Q ١٤٣ لتر/ث.

الخطوة رقم (٤)

من الفرع AIIB، S = ١٠ ÷ ١٥٠٠ = ٠,٠٠٦٧

من المخطط، مع D = ٢٠٠ مليمتر، S = ٠,٠٠٦٧ اقرأ Q = ٢٧ لتر/ث.

الخطوة (٥)

التدفق الكلي إلى الوصلة A هو Q = QI + QII = ١٤٣ + ٢٧ = ١٧٠ لتر/ث.

الخطوة (٦) :

الميل الهيدروليكي الكلي \`S = ١٠ ÷ ٥٠٠ = ٠,٠٢

الخطوة (٧) :

من المخطط، مع Q = ١٧٠ لتر/ث، \`S = ٠,٠٢ اقرأ القطر المكافئ لـ ٣٥٠ مليمتر.

حسابات المثال السابق تبين ا، خط المواسير بطول ٥٠٠ متر وبقطر ٣٥٠ مليمتر يكافئ هيدروليكيا للحلقة المعطاة من A إلى B. عدد غير محدود من مواسير مكافئة أخرى مع مجموعة مختلفة من الطول والقطر يمكن إيجاده. كذلك، إذا كان الفقد في الضغط بخلاف ١٠ متر ثم افتراضه في الخطوة رقم (١)، فإن نفس الإجابة النهائية للقطر ٣٢٠ مليمتر للطول ٥٠٠ متر سوف تكون النتيجة. حاول نفس المثال مع افتراض HL = ٢٠ متر لإثبات ذلك.

تحليل شبكة خطوط المواسير : Pipe Network Analysis

بعد تبسيط نظام توزيع المياه المعقدة باستخدام المواسير المكافئة، يتم عندئذ تحليلها لتعيين الضغوط ومعدلات التدفق عند النقط الهامة فى النظام. يمكن محاكاة شبكة التوزيع وتحليلها باستخدام الكومبيوتر. قبل إمكان استخدام المحاكاة باستخدام الكمبيوتر.

طريقة هاردى كروس (Hardy Cross) هى طريقة المحاولة والخطأ، التصحيحا تستخدم لمعدلات تدفق فرضية بطريقة التى تؤدى إلى نظام متزن هيدروليكيا. النظام المتزن هو ذلك الذى فيه التدفق المحسوب والفقد فى الضغط يتطابق عند وصلة الماسورة فى شبكة التوزيع. بمعنى آخر، مهما كان الممر أو الفرعة الذى يتم ابتاعه للحصول على توصيل معين، فإن الضغط المحسوب هو نفسه. وإجمالى التدفق فى الوصلة يساوى إجمالى التدفق الخارج من تلك الوصلة.

التصميمات المطبقة للتدفق الفرضية يتم تحديدها من المعادلة الآتية. والتى اشتقت من معادلة هازن – وليام.

$$\Delta Q = \frac{\sum h_L}{1.85 \times \sum (h_L / Q)}$$

حيث

ΔQ = تصحيح التدفق

Σh_L = مجموع الفقد فى الضغط

$\Sigma h_1/Q$ = مجموع النسب h_L/Q لكل خط مواسير فى الداشرة

(هنا ΔQ تنطق دلتا Q، Σh_L تنطق سيجما h_L).

مصطلح العلاقة المستخدم فى طريقة هاردى كروس لبيان اتجاه التدفق فى الدائرة: التدفقات فى اتجاه دوران عقرب الساعة (→) تعتبر موجبة (+) والتدفقات فى اتجاه عكس دوران عقرب الساعة (←) تعتبر سالبة (–). الفقد فى الضغط بسبب التدفقات فى اتجاه عقرب الساعة تعتبر كذلك موجبة والفقد فى الضغط من اتجاه عكس دوران عقرب الساعة تكون سالبة.

فى النظام المتزن هيدروليكيا المجموع الجبرى للفقد فى الضغط حول الحلقة ΣhL سوف تضيف إلى الصفر. فمثلاً، فى نظام المواسير المتوازية فى الشكل (٤/٢٧)، معدل

التدفق لـ ١٤٣ لتر/ث فى AIB يكون موجباً (فى اتجاه عقرب الساعة)، والفقد فى الضغط ١٠ متر فى تلك الماسورة هو كذلك موجب (+ ١٠متر). معدل التدفق لـ ٢٧ لتر/ث فى AIIB يكون سالبا (عكس اتجاه عقرب الساعة) والفقد فى الضغط فى تلك الماسورة هو كذلك سالباً (− ١٠ متر). فى هذه الدائرة البسيطة ΣhL = (+ ١٠) + (− ١٠) = صفر كما ستكون للنظام المتوازن.

مثال :

ثانياً عند تناول الدائرة المفردة للمواسير المتوازية فى الشكل (٤/٢٧). بدلاً من استبدالها بماسورة مكافئة، المسألة هنا هى كالآتى :

إذا كان التدفق لـ ٤٠٠ لتر/ث يدخل وصلة الدائرة A، ما هى معدلات التدفق (Q1) التى ستكون فى الفرع AIB، (Q_{II}) فى الفرع AIIB.

الحل :

من مبدأ استمرار التدفق، فإن التدفق الداخل إلى الوصلة يجب أن يساوى التصرف الكلى من الوصلة أو $Q_I + Q_{II}$ = ٤٠٠لتر/ث. إذا كانت الفرعات AIIB , AIB متشابهين فى جميع الاعتبارات. عندئذ فإن التدفق ٤٠٠لتر/ث سوف ينقسم بالتساوى بينهم. ولكن هذه ليست كذلك هنا، AIIB أطول وأضيق من AIB، ولذلك فإنها سوف تسبب مقاومة للتدفق أكثر. من المناسب افتراض أن معدل التدفق AIIB سيكون أقل من ذلك فى AIB.

أبدأ بفرضية أن معدل التدفق Q1 = ٣٠٠ لتر/ث، Q_{II} = − ١٠٠ لتر/ث (العلامة السالبة لـ QII تبين الاتجاه عكس دوران عقرب الساعة للتدفق). قيم التدفقات يجب أن تظل تضاف حتى ٤٠٠ (أى ٣٠٠ + ١٠٠ = ٤٠٠).

إذا كانت الفرضية لمعدل التدفق صحيحة، عندئذ فإن الفقد فى الضغط فى AIB ، AIIB سيكون متساوياً فى القيمة (ولكن بعلامة مختلفة). باستخدام مخطط هازن – وليام لمراجعة ذلك يعطى النتائج الآتية.

* الماسورة AIB

بالنسبة لـ Q = ٣٠٠ لتر/ث، D = ٣٠٠٠مليمتر، S = ٠,٠٧٥

h_L = S ×L = ٠,٠٧٥ × ٥٠٠ = ٣٧,٥ متر

* الماسورة AIIB

بالنسبة لـــ Q = – ١٠٠ لتر/ث، D = ٣٠٠ مليمتر، S = – ٠,٠٧

h_L = L×S = – ٠,٠٧ × ١٥٠٠ = –١٠٥ متر.

حيث أن ΣhL = –٣٧,٥ + (–١٠٥) = – ٦٧,٥ متر، بدلاً من صفر، فإن الحلقـــة تكون غير متوازنة والتدفقات المقترحة ليست صحيحة. بدلاً من التخمين عنـــد تـــدفقات جديدة كمحاولة، استخدم معادلة التصحيح لهاردى كروس والتى سبق ذكرها

$$\Delta Q = \frac{\sum h_L}{1.85 \times \sum (h_L / Q)}$$

عندئذ ΔQ = $\frac{\text{٦٧,٥ –}}{\text{[(١٠٠ ÷ ١٠٥) + (٣٠٠ × ٣٧,٥)] × ١,٨٥}}$

= $\frac{\text{٦٧,٥ –}}{\text{١,١٧٥ + ١,٨٥}}$ = ٣١ لتر/ث

بإضافة تصحيح التدفق ΔQ = ٣١ لتر/ث إلى التدفقات الفرضية يعطى معدلات تدفق جديدة كالآتى :

* الماسورة AIB : Q_I = ٣٠٠ + ٣١ = ٣٣١ لتر/ث

* الماسورة AIIB : Q_{II} = – ١٠٠ + ٣١ = –٦٩ لتر/ث

* راجع الاستمرارية : ٣٣١ + ٦٩ = ٤٠٠ أوكى

لاحظ أهمية استخدام العلامات الجبرية الصحيحة

الآن استخدم المخطط ثانياً لمعرفة ما إذا كانت الدائرة متوازنـــة هيـــدروليكيا مـــع التدفقات الجديدة.

الماسورة : AIB :

بالنسبة لـــ Q_I = ٣٣١ لتر/ث، D = ٣٠٠ مليمتر، S = ٠,٠٨٥

hL = L × S = ٠,٠٨٥ × ٥٠٠ = ٤٢,٥ متر

الماسورة AIIB :

بالنسبة لـــ

بالنسبة لـــ Q_{II} = – ٦٩ لتر/ث، D= ٢٠٠ مليمتر، S = – ٠,٠٣٧

h_L = S × L = ٠,٠٣٧ × ١٥٠٠ = – ٥٥,٥ متر

الآن ΣhL = ٤٢,٥ + (– ٥٥,٥) = – ١٣ متر. هذا يظل ليس صفراً، لذلك يتم عمل تصحيح للتدفق آخر كالآتى :

ΔQ = – ١٣ / [(٦٩ ÷ ٥٥,٥) + (٣٣١ × ٤٢,٥)] × ١,٨٥

= – ١٣ / ١,٧٢٦ = ٧,٥٣ لتر/ث

من الناحية العملية يتم تقريب ٧,٥٣ لتكون ΔQ = ٨ لتر/ث وبالنسبة للتدفقات التى تم تصميمها، نحصل على الآتى:

الماسورة AIB Q_I = ٣٣١ + ٨ = ٣٣٩ لتر/ث

الماسورة AIIB Q_{II} = – ٦٩ + ٨ = – ٦١ لتر/ث

راجع الاستمرارية : ٣٣٩ + ٦١ = ٤٠٠ أوكى

الآن راجع الفقد فى الضغط ثانياً لمعرفة إذا كانت الدائرة متوازنة

الماسورة : AIB :

بالنسبة لـــ Q_{II} = ٣٣٩ لتر/ث، D= ٣٠٠ مليمتر، S = ٠,٠٩

h_L = S × L = ٠,٩ × ٥٠٠ = ٤٥ متر

الماسورة : AIIB :

بالنسبة لـــ Q_I = – ١٦ لتر/ث، D= ٢٠٠ مليمتر، S = – ٠,٠٣

h_L = S × L = – ٠,٠٣ × ١٥٠٠ = – ٤٥ متر

حيث أن Σh_L = ٤٥ + (– ٤٥) = – صفر، إذن الدائرة متوازنة، الإجابات النهائيـــة لمعدلات التدفق هى

Q = ٣٣٩ لتر/ ث ، Q_{II} = ٦١ لتر/ث

(من الناحية العملية، يتم تقريب الإجابات إلى ٣٤٠ لتر/ث ، ٦٠ لتر/ث على التوالى). الفقد فى الضغط من A إلى B هو ٩,٨ × ٤٥ = ٤٤٠ كيلوبار.

بالنسبة للشبكات ذات أكثر من دائرة حلقية وبها العديد من نقط دخول التدفقات أو خروج التدفقات، يكون من المناسب عمل جدول لتنظيم ومتابعة حسابات هاردى كروس. وهذا موضح فى المثال التالى ولكن أولا يتم توضيح الطريقة العامة كالآتى :

الخطوة (١) :

لكل ماسورة فى الشبكة، افترض معدل تدفق واتجاه تدفق. القيد الوحيد على هذه الفرضية الأولية للتدفقات هى أن إجمالى التدفق المتجه نحو وصلة الماسورة يجب أن يساوى التدفق الكلى الخارج من هذه الوصلة.

الخطوة (٢) :

العمل مع حلقة واحدة فى وقت واحد، استخدم مخطط هازن وليام لتعيين S , hL لكل ماسورة فى الدائرة. كذلك أحسب $h_L \div Q$ لكل ماسورة.

الخطوة (٣)

احسب ΣhL ، $\Sigma h_L \div Q$، باستخدام العلامات المناسبة (+ أو −). مصطلحات hL ÷ Q دائما موجبة.

الخطوة (٤) :

احسب ΔQ، تصحيح التدفق للدائرة، باستخدام معادلة هاردى كروس. أضف ΔQ إلى التدفق فى كل ماسورة لهذه الدائرة، احرص نحو استخدام العلاقة الصحيحة. لا تغير للتدفقات فى الدوائر الأخرى مع هذه ΔQ.

الخطوة (٥) :

كرر الخطوة (٢) حتى (٤) لدائرة مجاورة فى الشبكة. لاحظ أنه على الأقل أحد المواسير فى الدائرة الأولى هى كذلك جزء من الحلقة المجاورة. استخدم التدفقات التى سبق تصحيحها فى المواسير المشتركة، ولكن يجب مراعاة أن العلامات الجبرية للتدفقات والفقد فى الضغط فى المواسير المشتركة يتغير، طبقاً لما هو فى الدائرة الجارى تقييمها.

الخطوة (٦) :

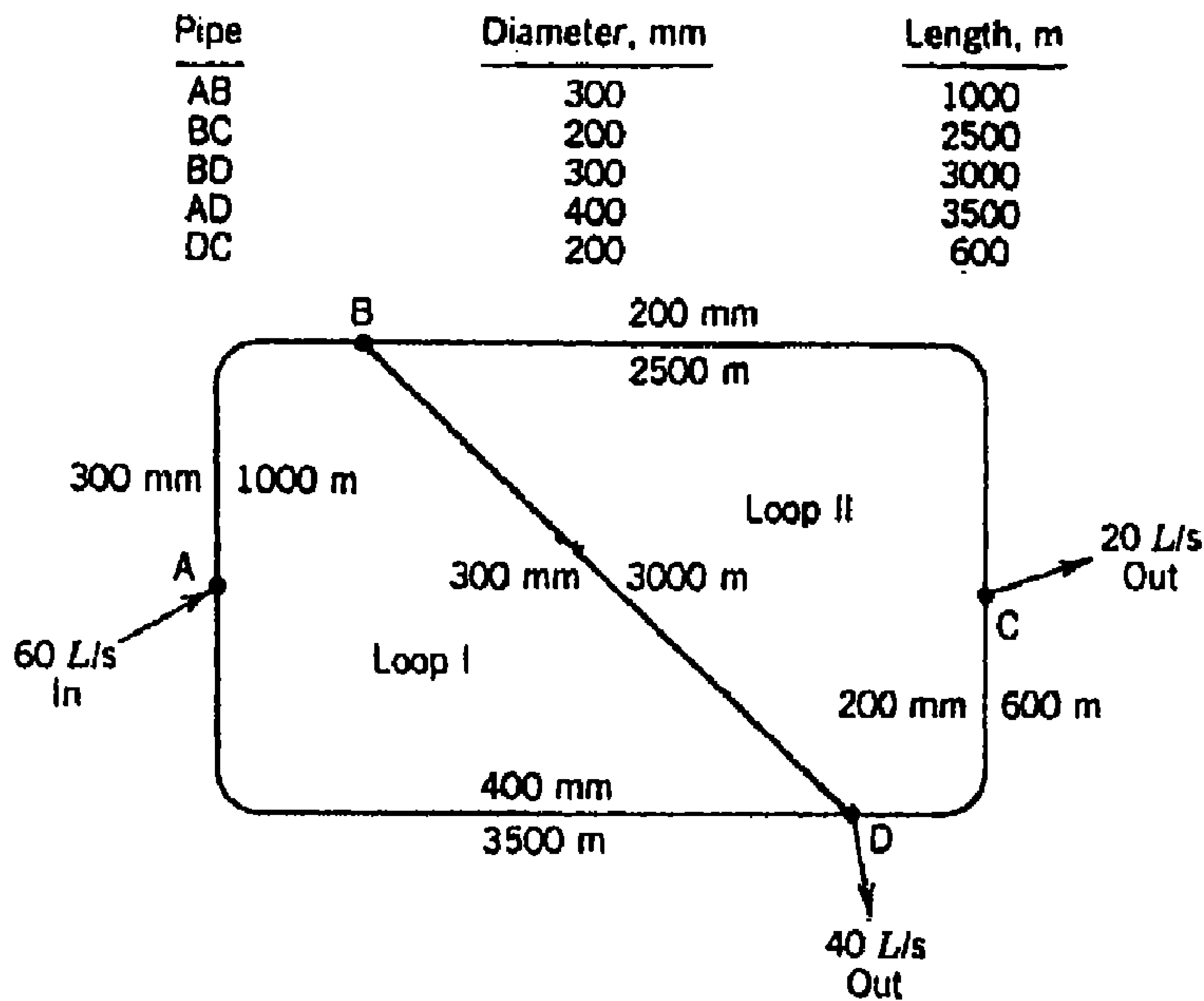
كرر الخطوات (٢) إلى (٤) لكل حلقة فى الشبكة لعديد من المرات طبقاً للمطلــوب للوصول عند نظام متوازن معقول. عموماً، الفرق أقل من ١٠% بين الفقد فى الــضغط الموجب.والفقد فى الضغط السالب فى الحلقة يكون مقبولاً. بدلاً من ΣhL = صفر.

مثال :

نظام توزيع المياه تم اختصاره وخفضه إلى دائرة تبين الموضح فى الشكل (٤/٢٨). يتم ضخ معدل تدفق ٦٠لتر/ث فى الشبكة عند النقطة (A)، ونقطتين سحب مياه رئيسيتين عند (C) , (D)، لصرف ٢٠ لتر/ث، ٤٠ لتر/ث على التوالى. عين معدلات التدفق فى كل المواسير فى الشبكة.

الحل :

الحسابات الموضحة فى الخطوات من ١ إلى ٦ فى طريقـــة هـــاردى كـــروس تـــم تلخيصها فى الجدول (٤/٥).

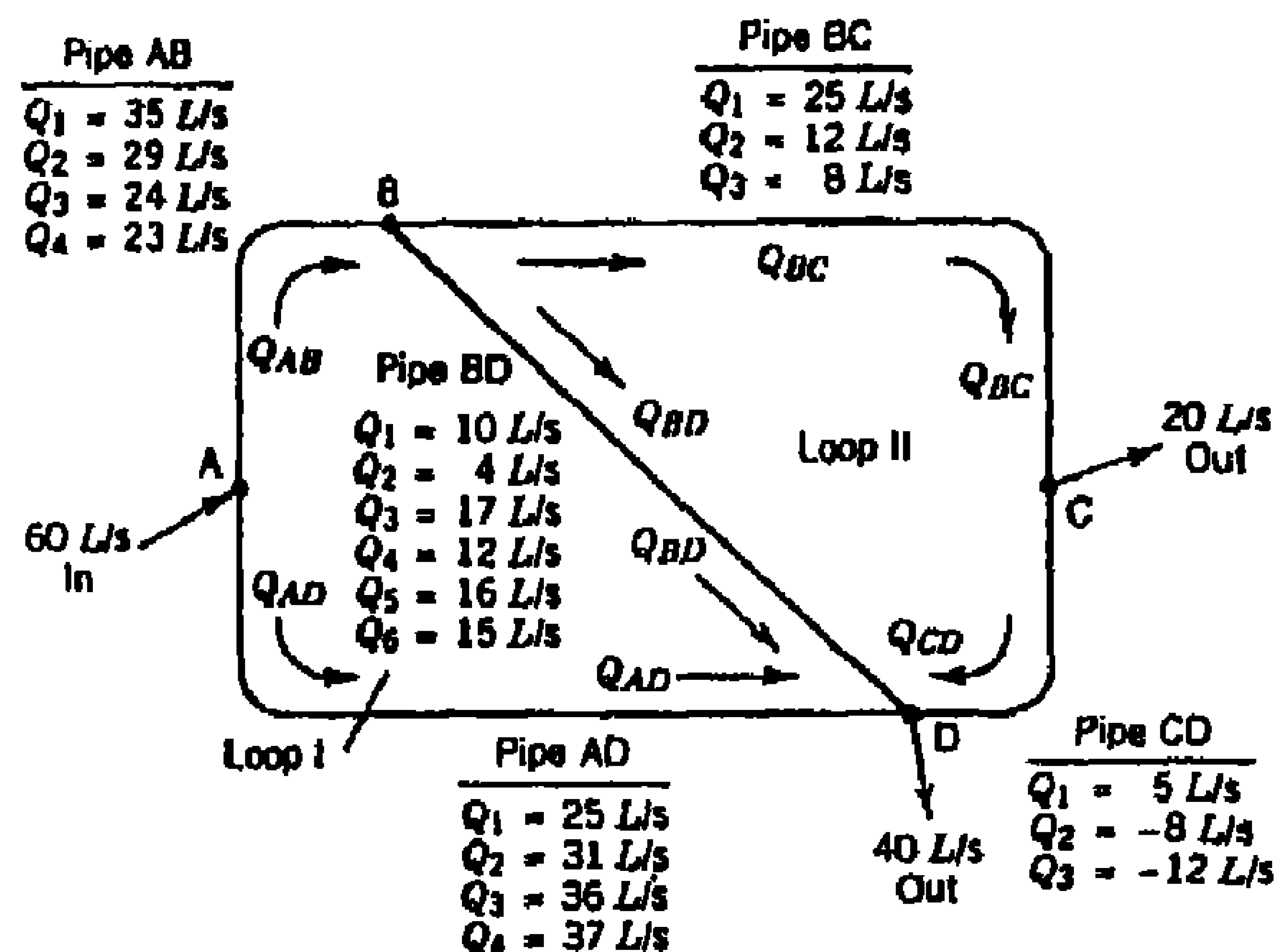


شكل (٤/٢٨) توضيح للمثال

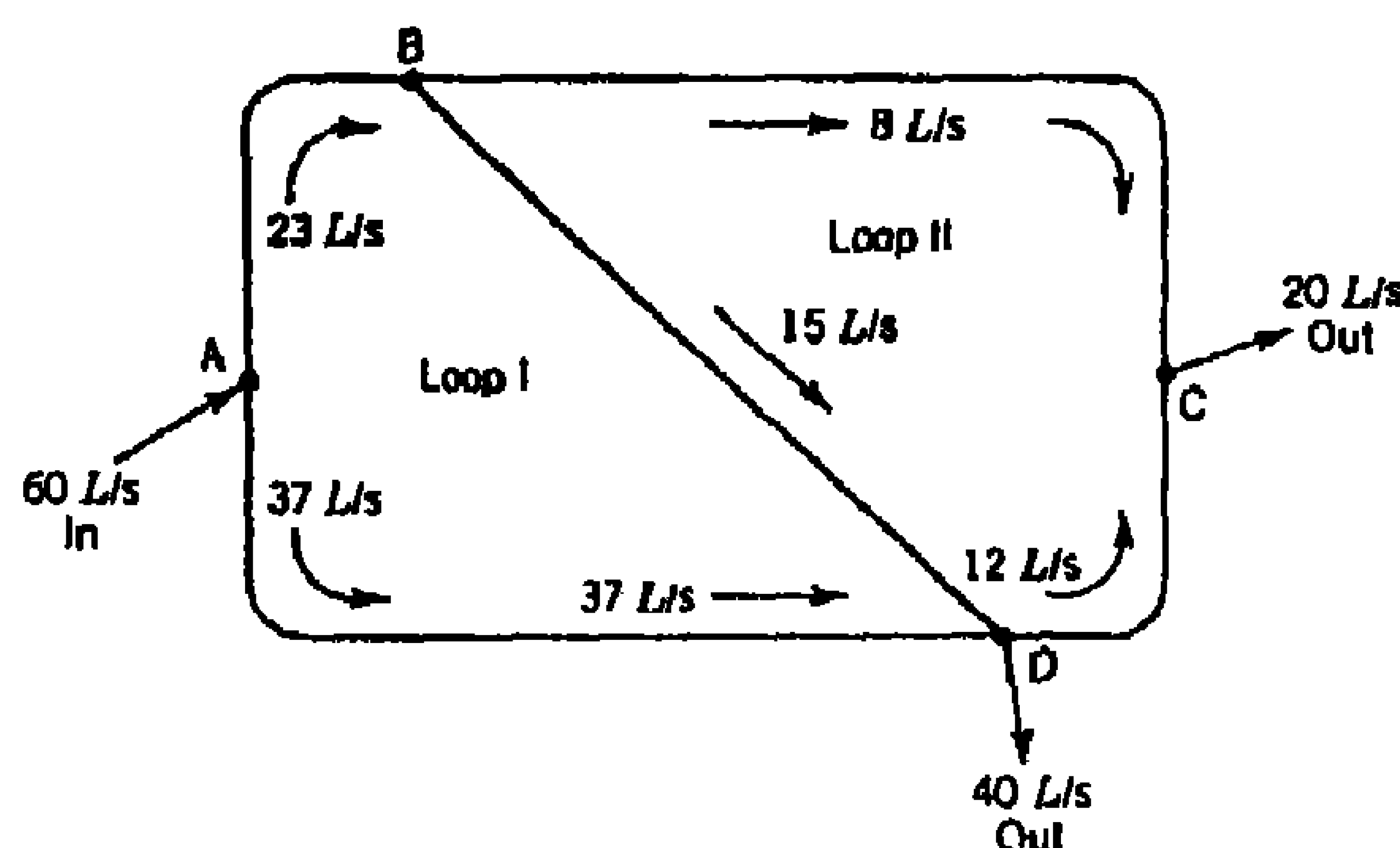
توقيع للتدفقات الصحيحة موضح فى الشكل (٤/٢٩). لاحظ أن تصحيح التدفق فـــى BD (Q + ΔQ = ٤ لتر/ث) من الحلقة I/ المحاولة الأولى استخدمت بعلامـــة موجبـــة فـــى

حسابات للحلقة II/ المحاولة الأولى. هذا لأن الماسورة BD مشتركة فى الحلقتين، بينمـــا التدفق فى اتجاه عقرب الساعة فى الحلقة II، فإنه فى اتجاه عكس اتجاه عقرب الساعة فى الحلقة II. هذه العلامة المعكوسة للتدفقات فى BD يحدث متكررا، كما هو موضح فى باقى الحسابات.

معدلات التدفق النهائية فى الشبكة المتوازنة موضحة فى الشكل (٤/٣٠).



شكل (٤/٢٩) ملخص لافتراضات التدفق الأولى ثم التدفقات التى تم تصحيحها فى المثال



شكل (٤/٣٠) اتزان معدلات التدفق لاحظ أن استمرار التدفق ينطبق على كل وصلات المواسير (Qout = Qin) عند النقطة (A) ٦٠ = ٢٣ + ٣٧، عند (B) ٢٣ = ١٥ + ٨، (C) ٨+ ١٢ = ٢٠ عند النقطة (D) ١٥ + ٣٧ = ٤٠ + ١٢ = ٥٢

الفصـــل الخامس
نظم شبكات مواسير الصرف الصحى

مقدمة :

يتكون نظام جمع مياه الصرف الصحى من شبكة خطوط المواسير، محطات الضخ، القنوات، والمهمات لنقل مياه الصرف الصحى إلى محطة المعالجة، أو المصرف. مياه الصرف يمكن أن تكون مياه صرف صحى، صرف صناعى، مياه أمطار أو خليط من الثلاثة.

الصرف الصحى يحتوى على المخلفات الآدمية، ومياه الغسيل من التجمعات السكنية أو المنشآت التجارية والصناعية. الصرف الصناعى هو المياه المستخدمة فى عمليات التصنيع. وهذه عادة تحتوى على العديد من المركبات الكيماوية. مياه الأمطار تحمل مواد عضوية ومواد صلبة عالقة ومذابة ومواد أخرى تم التقاطها أثناء رحلتها فوق سطح الأرض. خطوط المواسير التى تحمل خليط من هذه الأنواع الثلاثة من مياه الصرف تسمى شبكة المواسير المشتركة (Combined Sewers). شبكات المواسير المشتركة تم إقامتها فى القرن التاسع عشر فى المدن القديمة. ومعظم هذه النظم والتى بعضها أكثر من ١٠٠ عام مازال يعمل حتى الآن.

شبكة المواسير المشتركة (Combined Sewers) تتكون من مواسير كبيرة الحجم أو أنفاق. ذلك لأن حجم مياه الأمطار والسيول الذى يجب حمله أثناء حدوث الأمطار يكون كبيراً. حجم مخلفات الصرف الصحى صغير جداً مقارنة بتدفقات مياه الأمطار والسيول. للمحافظة على سرعة تدفق مياه الصرف فى المواسير ذات الأقطار الكبيرة، فإن المواسير المشتركة يمكن أن يكون لها الشكل الموضح فى الشكل (٥/١-أ). أثناء المناخ الجاف تتدفق مياه الصرف فى القناة الصغيرة عند القاع.

حالياً شبكات المواسير المشتركة الموضحة فى الشكل (٥/١-ب) توقف استخدامها. بدلاً منها تم إنشاء شبكات مواسير منفصلة، حيث شبكة لتجميع مياه الأمطار حتى نقطة الصرف، وشبكة للصرف الصحى والصرف الصناعى الذى سبق معالجته حتى محطة معالجة الصرف الصحى. وهذا موضح فى الشكل (٥/١-جـ).

السبب الرئيسى فى بناء نظم منفصلة هو أن المحطات التقليدية لمعالجة مياه الصرف الصحى ليس لها طاقة استيعاب الأحجام الضخمة لمياه الأمطار عند حدوث الأمطار. ولهذا فإن مياه الأمطار المخلوطة مع مياه الصرف الصحى يجب تمريرها حول محطة المعالجة مباشرة إلى المسطح المائى، بما يسبب تلوث للمياه. فى بعض المدن الكبيرة يمكن توجيه النظام المشترك إلى أحواض تجميع ضخمة ثم تطهيرها قبل الصرف على المسطح المائى حالياً. صممت خطوط مواسير منفصلة لمنع مشكلة النظام وذلك بنقل مياه الصرف الصحى فقط إلى محطة المعالجة.

فى معظم نظم خطوط مواسير الصرف الصحى تتدفق مياه الصرف بالجاذبية، فى مواسير ممتلئة جزئياً والتى ليست تحت ضغط. أحياناً يتم نقل مياه الصرف الصحى تحت الضغط فى خطوط مواسير تسمى خطوط الرفع (Force Mains) إلى محطة المعالجة أو إلى النقطة حيث يمكن أن تتدفق ثانياً بفعل الجاذبية. فى بعض الحالات يمكن أن يتكون نظام خطوط مواسير الصرف الصحى لمساحة محلية من مواسير ذات قطر صغير نسبياً تحت الضغط، وهذه تسمى خطوط مواسير الصرف تحت الضغط (Pressure Sewer Systems). فى بعض الحالات تستخدم مواسير التفريغ (Vacuum Sewers) التى تستخدم عملية المص (Suction) لتحريك مياه الصرف.

فى هذا الفصل سيتم التركيز على نظم شبكات مواسير الصرف، متضمناً عوامل التصميم، المواد، المهمات، الإنشاءات، التسرب والدفق (Infiltration , Flow)، والإصلاح.

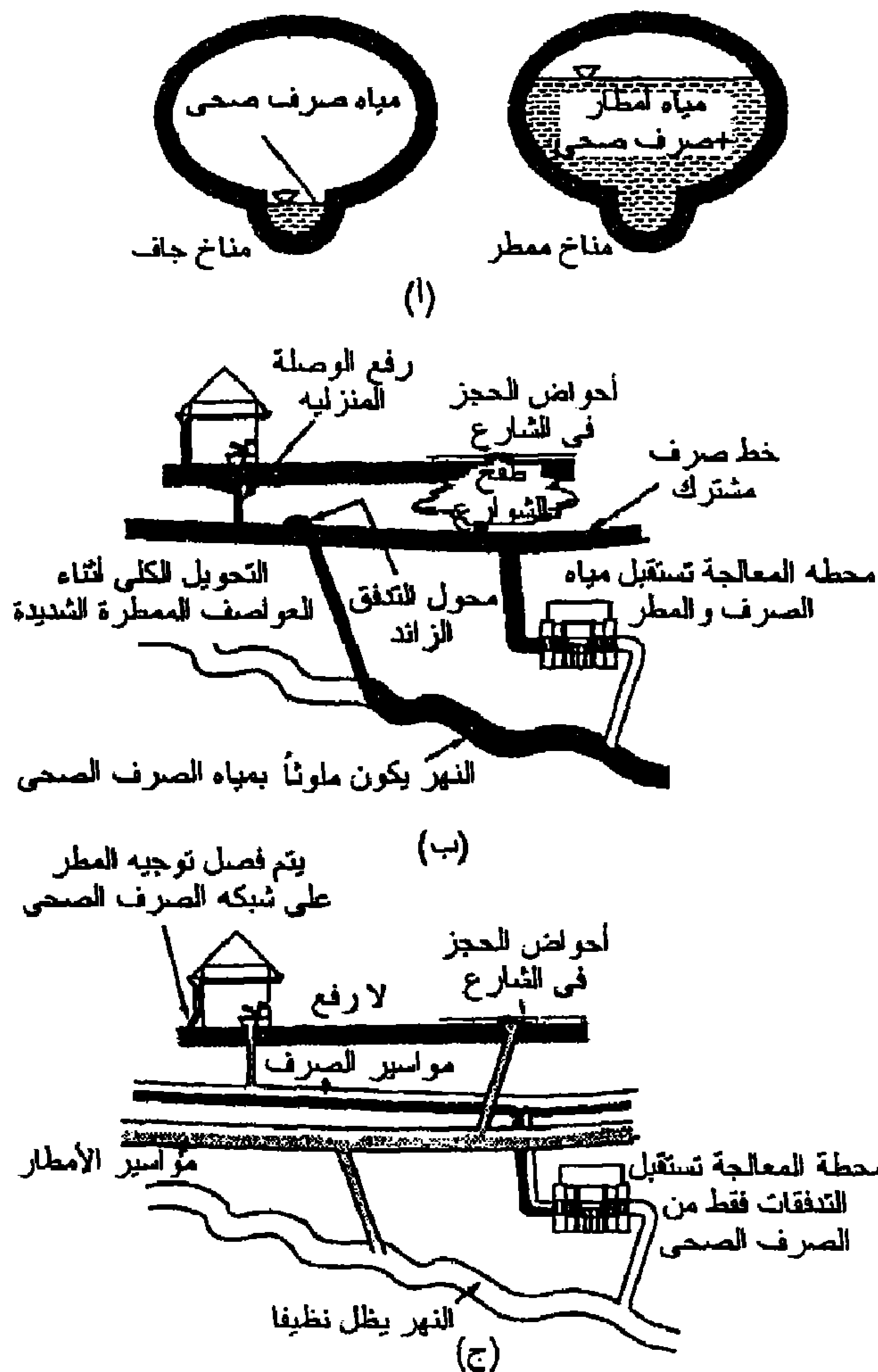
١- تصميم خطوط مواسير تجميع مياه الصرف الصحى :

مواسير تجميع مياه الصرف الصحى مباشرة من المنازل تسمى فرعات المواسير (Lateral sewers) باستثناء الوصلات المنزلية المنفصلة، فإن هذه هى مواسير الصرف ذات أصغر قطر فى الشبكة. فرعات المواسير تحمل مياه الصرف بالجاذبية إلى مواسير تجميع (Collection Sewers)، والتى هى بالتالى متصلة بمواسير أكبر فى الحجم تسمى (Trunk line or Interceptors)، وهذه تحمل مياه الصرف إلى محطة المعالجة حيث يتم إزالة معظم الملوثات قبل الصرف على المسطح المائى. وهذه عادة توضع فى أوطأ جزء فى منطقة الخدمة أو حوض الصرف ويمكن أن تنشأ موازية لأرضية الوادى أو قاع النهر.

المواد والملحقات : (Materials and Appurtenances)

المواسير المستخدمة فى نظم الصرف الصحى يجب أن تكون قوية وذات قدرة تحمل عالية لمقاومة خواص الاحتكاك والتآكل لمياه الصرف الصحى. كما يجب أن تكون قادرة على مقاومة الإجهادات بفعل مواد الردم من التربة، والتى يتم وضعها فى الخندق المحفور لتغطية المواسير،

وكذلك تأثير حركة المرور فوق خط المواسير. الوصلات بين مقاطع المواسير يجب أن تكون مرنة، وفى نفس الوقت محكمة التوصيل لمنع حدوث التسرب، إما للصرف الصحى خارج الماسورة أو المياه الأرضية إلى داخل الماسورة. بالإضافة إلى استخدام المواد المناسبة لتحقيق كل هذه المتطلبات، فإنه من الضرورى وجود العديد من الملحقات للأداء الجيد لشبكة المواسير. وهذه تتضمن غرف التفتيش (المطابق Manholes) السيفونات المقلوبة، محطات الرفع، عدادات قياس التدفق. عدادات القياس تم تناولها فى الفصل الثانى (الهيدروليكا)، محطات الرفع فى الفصل السادس (معالجة الصرف الصحى).



شكل (٥/١) (أ) مقطع فى خطوط المواسير المشتركة لحمل مياه الصرف ومياه الأمطار. القناة الصغيرة عند القاع تحمل الصرف الصحى عند سرعة النظافة الذاتية أثناء المناخ الجاف. أثناء المطر تختلط مياهه مع مياه الصرف. (ب) أثناء المطر الشديد يتم توجيه معظم المطر والصرف نحو المجرى المائى حيث أن ذلك فوق طاقة محطة المعالجة(ج). فى الإنشاءات الحديثة تستخدم خطوط صرف صحى مستقلة.

مواسير الفخار المزجج : (Vitrified Clay Pipes)

الفخار المزجج مادة جيدة لمواسير الصرف الصحى نظراً لمقاومته للتآكل أو التلف بفعل الأحماض والكيماويات الأخرى. وهو كذلك يقاوم البرى والفرك (Scour) من مواد الاحتكاك التى تحملها التدفقات، ولكنه ذو قصافة (Brittle) ويمكن أن يتهشم بسهولة. لذلك فإنه يجب الحرص فى التداول أثناء الإنشاء وكذلك الوضع المناسب فى الخندق والذى يسمى الأساس أو الفرشة (Bedding) الذى يوفر الحمل لمقاومة الأحمال الخارجية.

ماسورة الفخار المزجج متاحة بأقطار من ١٢" إلى ٩٦". وصلات الضغط الحلقية بين الرأس والذيل تستخدم عادة لتوصيل قطاعات المواسير.

المواسير من الخرسانة المسلحة : (Rein Forced Concrete Pipes)

المواسير الخرسانية المسلحة تكون مناسبة للأقطار الكبيرة حيث تتوفر بأقطار حتى ٦ متر (٢٨٨بوصة) وبأطوال حتى ٨ أمتار (٢٥ قدم). وهى مادة ماسورة قوية، ولكن الخرسانة ذات حساسية للتلف فى وجود غاز كبرتيد الهيدروجين. هذه المشكلة المسماة تآكل قمة السطح الداخلى للماسورة (Crown Corrosion) سيتم مناقشتها لاحقا فى هذا الفصل. العديد من طرق التبطين لحماية السطح الداخلى يمكن أن تحمى الماسورة من هذا التآكل. الوصلات بين الرأس والذيل هى عموماً حلقة المطاط.

الماسورة من البلاستيك :

زاد استخدام مواسير البلاستيك فى خطوط مواسير الصرف التى تعمل بالجاذبية ذلك بسبب خفة وزنها وسهولة تداولها أثناء الإنشاء. وهى ماسورة مقاومة للتآكل وسطح ماسورة البلاستيك الناعم يوفر خصائص هيدروليكية جيدة. أحد أنواع البلاستيك المستخدمة فى صناعة المواسير هو البولى فينيل كلوريد (PVC)، وهذه متاحة من أقطار حتى ٣٠ بوصة وبأطوال حتى ٦ متر. يمكن توصيل الرأس والذيل إما بالحلقة المطاط أو بوصلة اللحام الكيماوى. كذلك يستخدم البولى إيثيلين عالى الكثافة.

مواد أخرى :

الأسبستوس الأسمنتى، الزهر المرن، والصلب تستخدم أحياناً فى صناعة مواسير الصرف الصحى. ماسورة الأسبستوس الأسمنتى خفيفة إلى حد ما وسهلة التداول أثناء الإنشاء، ولكنها معرضة للتلف عند وجود كبريتيد الهيدروجين أو الأحماض. مواسير الزهر المرن والصلب تستخدم عادة فى خطوط الضغط وفى محطات الضخ حيث تكون

مياه الصرف تحت الضغط، فى الحالات الغير عادية للتحميل الخارجى، أو أن يكون خط المواسير مقام قريباً من أو فوق سطح مائى.

المطابق (غرف التفتيش) : (Manholes)

المطابق هى الإنشاءات التى توفر سهولة الوصول إلى خط المواسير للتنظيف، الإصلاح، أخذ العينات، قياس التدفق. وهى عادة دائرية المقطع، وذات قطر لا يقل عن ١,٢٥ متر (٤ قدم) بما يمكن العامل بالتحرك داخلها بدون صعوبة كبيرة.

المطبق التقليدى للخطوط الفرعية موضح فى الشكل (٥/٢). القاع مصنوع من الخرسانة مع وجود قناة شبه دائرية تربط مداخل ومخارج مواسير الصرف. عادة يتم استخدام مقطع ماسورة خرسانية سابقة التجهيز لبناء المطبق حتى الدرجة المطلوبة، ذلك رغم أن الطوب، الكتل الخرسانية، أو الخرسانة العادية يمكن كذلك استخدامها فى الإنشاء. إطار وغطاء من الحديد الزهر يتم توفيرها لحمل أحمال المرور ومنع التسرب للمياه السطحية.

المطابق توضع فوق محور الماسورة تحت الظروف الآتية :

١- عند وجود تغير فى قطر خط المواسير.

٢- عند وجود تغير فى ميل خط المواسير.

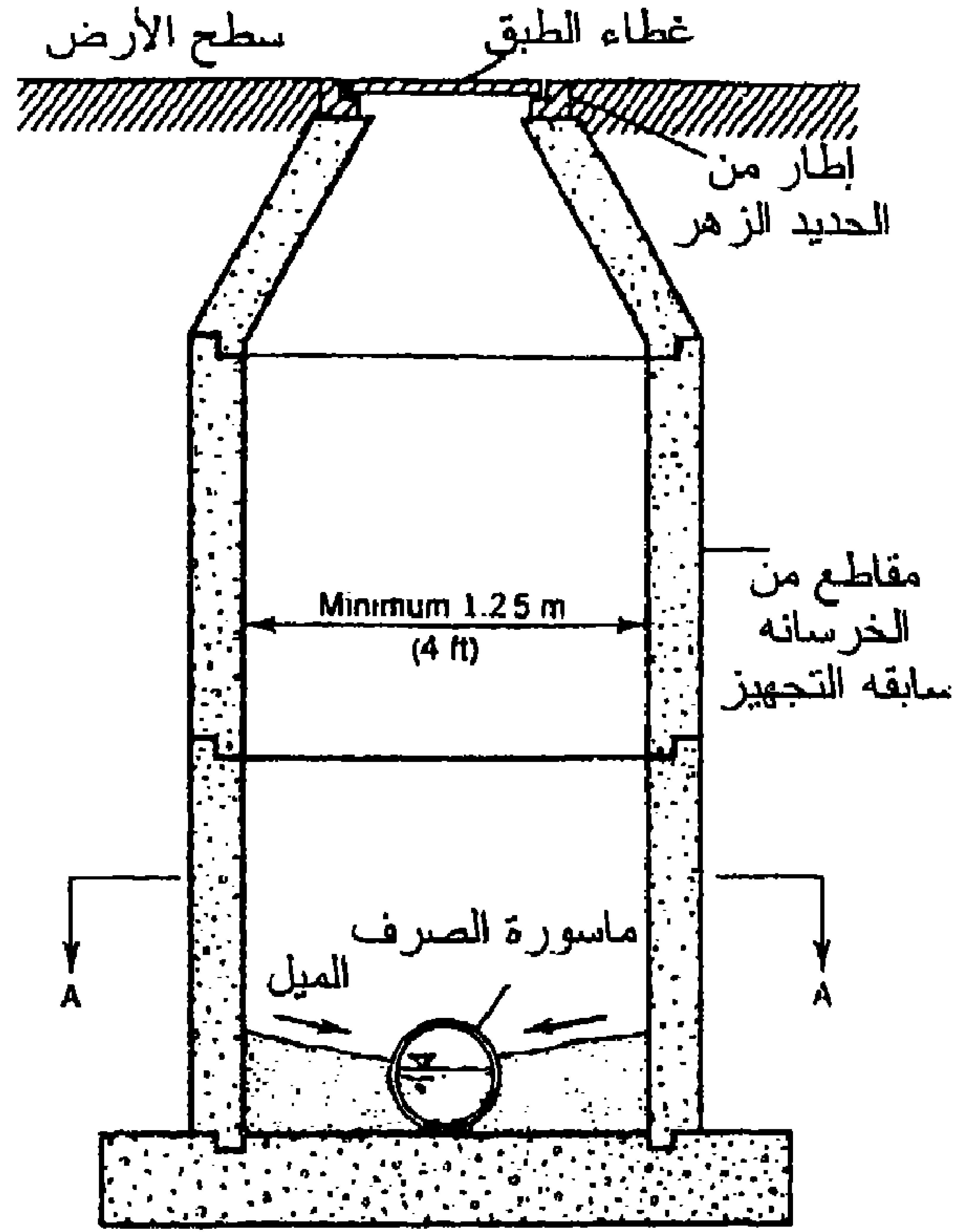
٣- عند وجود تغير فى اتجاه خط المواسير.

٤- فى كل تقاطعات المواسير.

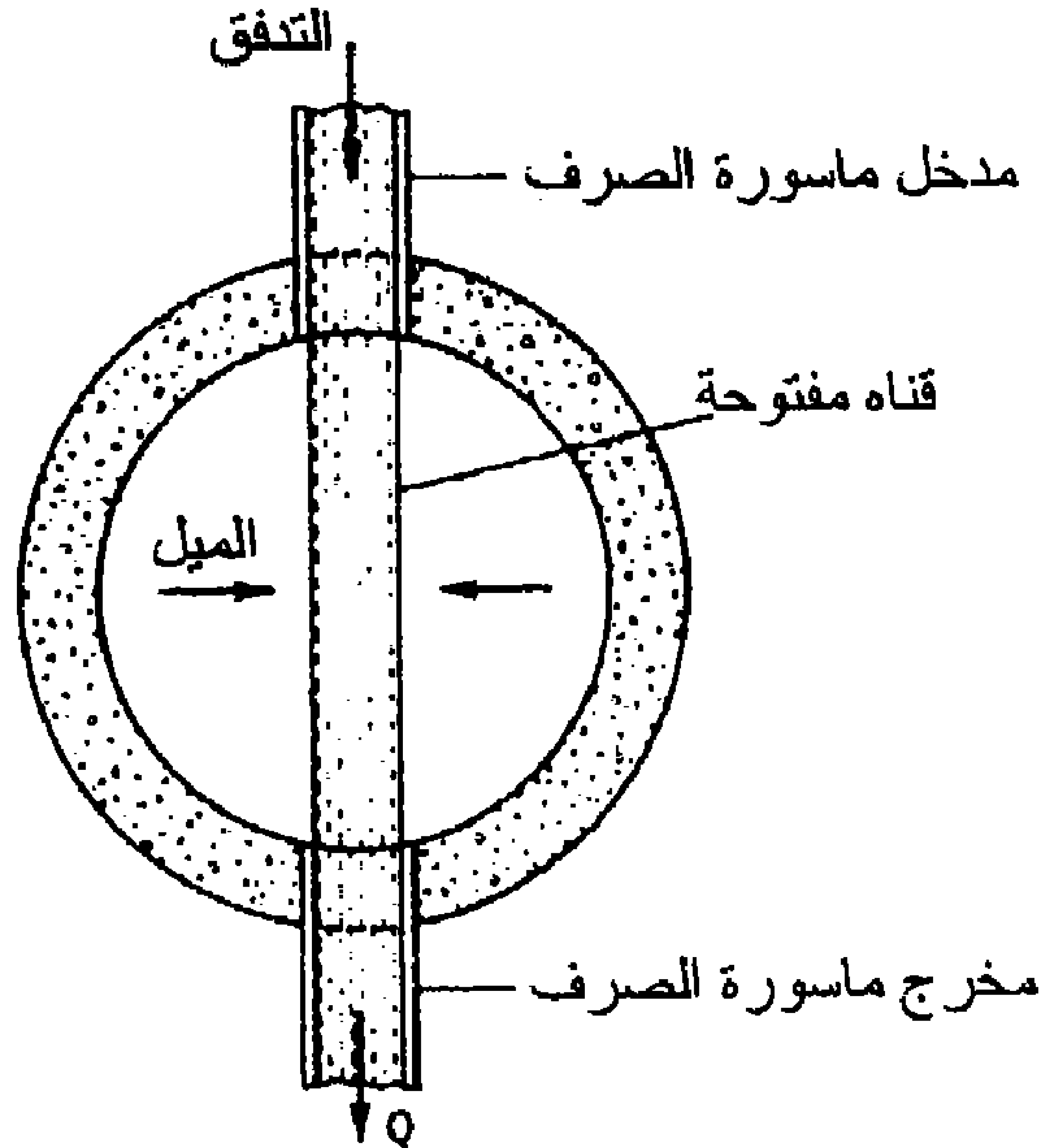
٥- عند النهاية لكل فرعة.

٦- على فترات لا تزيد عن ١٥٠ متر (٤٠٠ قدم).

أحياناً، عند وصلات فرعات المواسير مع مواسير أعمق، فإن استخدام المطابق الساقطة سوف يقلل كمية الحفر اللازمة وذلك لاستمرار الفرعة بالميل الضحل. وهذا موضح فى الشكل(٥/٣). مياه الصرف تسقط فى الماسورة السفلية خلال الماسورة الأفقية عند المطبق. فى هذه الطريقة، يتم حماية العامل من تدفقات الصرف الآتية.

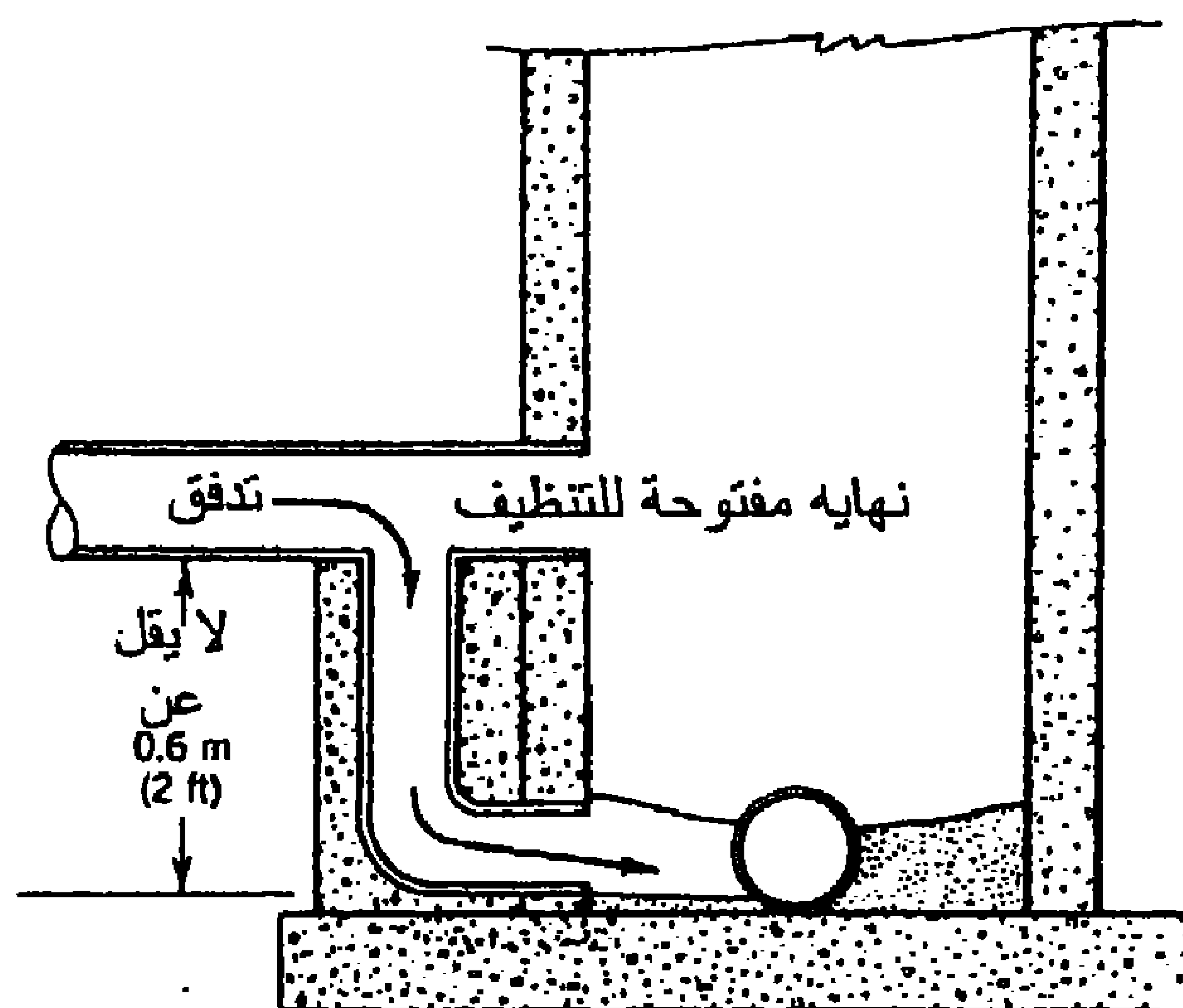


(a) مقطع طولى



(b) المقطعA-A

شكل (٥/٢) مقطع لغرفة تفتيش الصرف الصحى، والتى توفر سهولة التفتيش على خط المواسير، نظافته، إصلاحه، وأخذ العينات وقياس التدفقات



شكل (٥/٣) نموذج لغرفة التفتيش بالسقوط

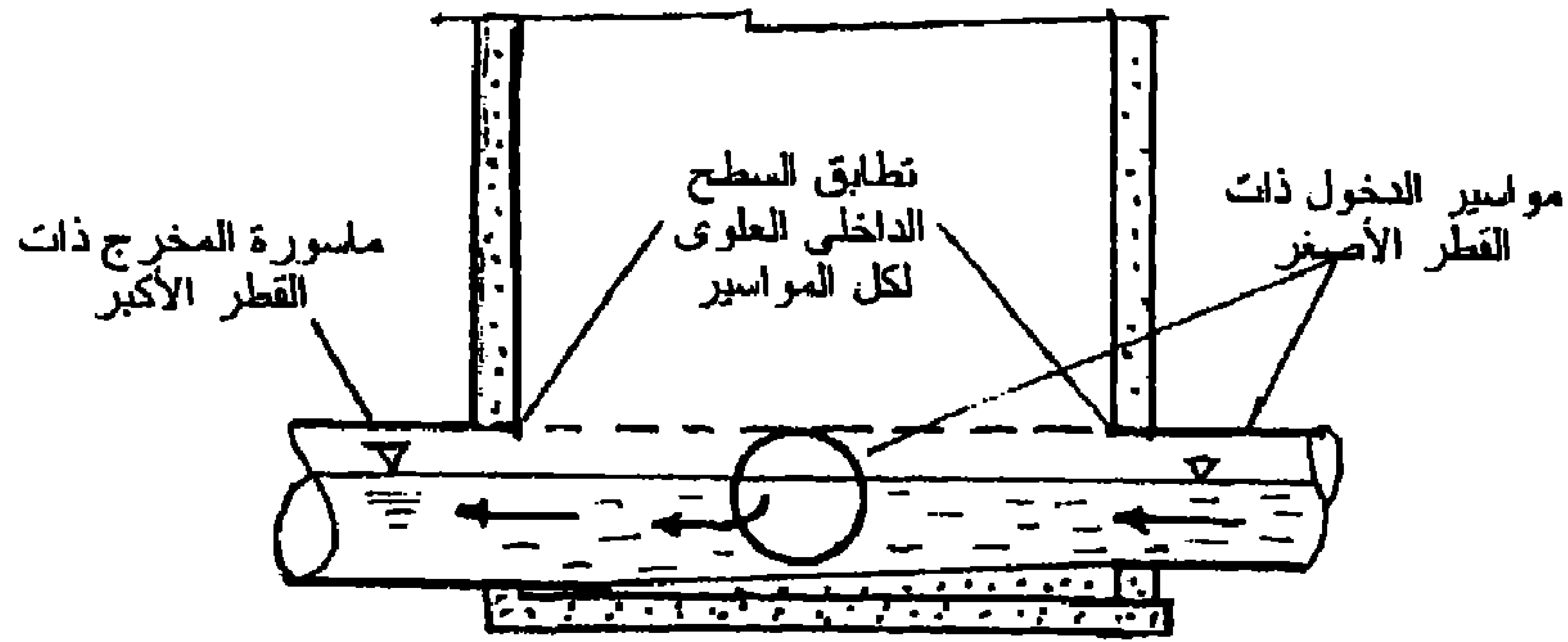
يتم بناء غرفة التفتيش (المطبق) بما يسبب أدنى فقد فى الضغط والتداخل مع هيدروليكا خط المواسير. أحد الطرق للمحافظة على استمرار التدفق السلس خلال غرفة التفتيش هو عند استخدام ماسورة صغيرة متصلة مع واحدة بقطر أكبر، فإن ذلك يتم بتساوى منسوب السقف الداخل العلوى للماسورتين عند المطبق وهذا موضح فى الشكل (٥/٤).

معابر خطوط مواسير الصرف : (Sewer Crossings)

يمكن إنشاء خط المواسير عبر المجرى المائى، تقاطع الطريق العام، أو أى عوائق أخرى. عند الإنشاء أسفل سطح الأرض، فإن مقطع خط المواسير أسفل المجرى المائى أو الطريق يسمى السيفون المقلوب (Inverted Syphon) أو خط المواسير المدفون. مقطع فى خط المواسير المدفون موضح فى الشكل (٥/٥). يمكن أن نرى أن هذا المقطع من خط المواسير هو تحت خط انحدار هيدروليكى، وهو يتدفق ممتلئاً وتحت الضغط.

للمحافظة على سرعة التدفق لتكون عالية بما يكفى لمنع المواد الصلبة من الترسيب فى الماسورة، فإنه تستخدم لذلك منطقتين أو ثلاث من المواسير المتوازية لحمل أدنى تدفقات، التدفقات المتوسطة والتدفقات العالية. حيث أن السيفون يكون تحت ضغط، فإنه يتم توفير غطاء من حديد الزهر الرماى أو الخرسانة لمنع التسرب.

فى بعض الحالات، يكون عبور المجرى المائى أو أى منطقة طبوغرافية منخفضة فوق سطح الأرض أكثر اقتصادياً. فمثلاً، خط المواسير يمكن أن يكون معلقاً على كوبرى مقام. أحياناً يمكن عبور الانخفاض الضحل بحمل المواسير على بغال من الخرسانة.



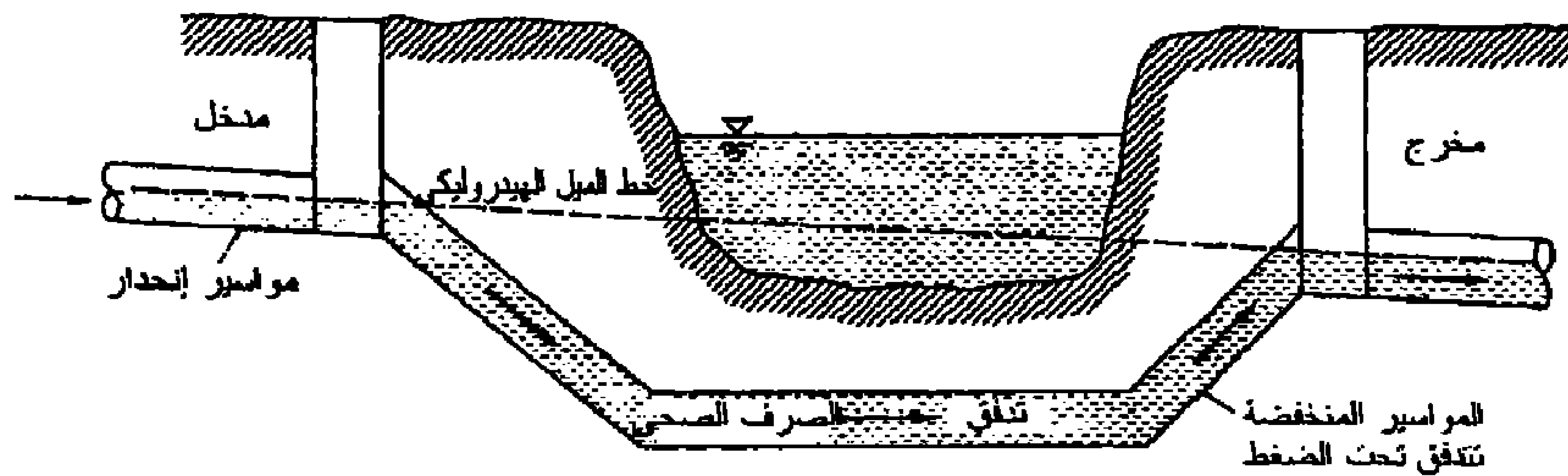
شكل (٥/٤) عند تقاطع المواسير عند المطبق بأقطار مختلفة فإن ارتفاع السطح العلوى للمواسير يمكن أن يكون متساوياً وذلك لإمكان التدفق السلس لانتقال السائل.

مكان ووضع خطوط مواسير تجميع الصرف الصحى :

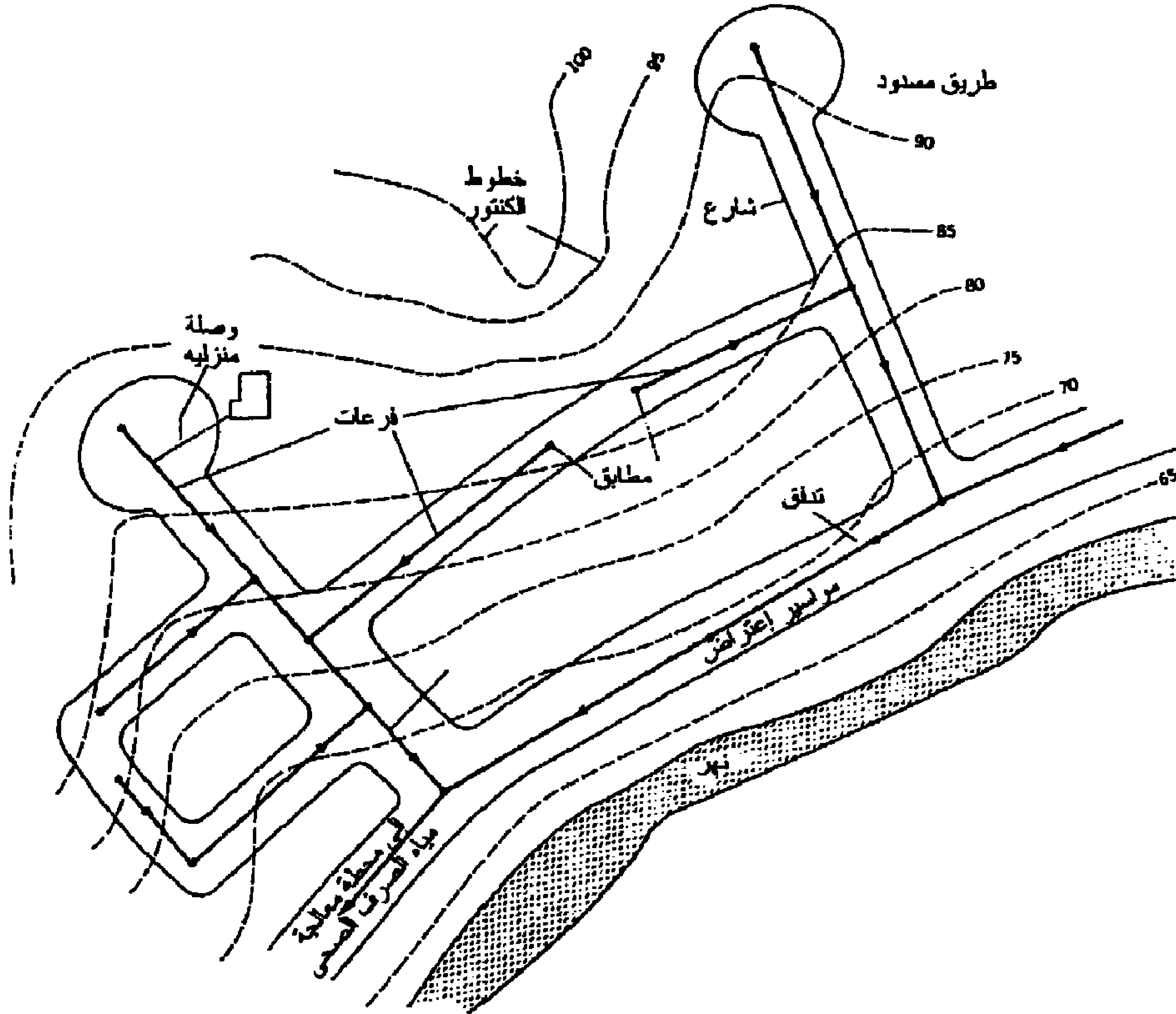
(Sewer Location and Layout)

قبل البدء فى التصميم التفصيلى لنظام تجميع الصرف، فإن المنطقة التى يتم فيها إنشاء خطوط مواسير الصرف يجب عمل الدراسات الحقلية لها للحصول على البيانات الطبوغرافية. يمكن استخدام خريطة لإمكان عمل الوضع الأولى لخطوط المواسير. عموماً يتم وضع خطوط المواسير، قريباً من منتصف الشارع وذلك لإمكان خدمة المنازل على الجانبين، أحياناً توضع الحوارى والأزقة أو فى مساحات عبر الملكية الخاصة. يقوم المصمم بعمل مخطط أولى لأوضاع خطوط المواسير وغرف التفتيش فى الشوارع على الخريطة، بهدف الحصول على التدفق بالجاذبية كلما أمكن ذلك.

يتم تجنب خطوط الضغط ومحطات الطلمبات بسبب التكاليف المضافة وكذلك مشاكل التشغيل، ميل الأرض يحدد درجة الجاذبية أو حالات التدفق للقناة المفتوحة وإمكان استمرارها. نموذج لتخطيط نظام الصرف موضح فى الشكل (٥/٦).



شكل (٥/٥) الماسورة المنخفضة أو السيفون المقلوب كحمل تدفقات الجاذبية أسفل مانع على طول مسار خط المواسير



شكل (٦/٥) يتم وضع خطوط مواسير الصرف لتوفير التدفق بالجاذبية كلما أمكن ذلك. يفضل تجنب الحاجة إلى محطات الضخ

من واقع بيانات المساحة الحقلية، يمكن تحضير خرائط تفصيلية لكل شارع بمقياس رسم كبير نسبيا مبينا أماكن المنازل المطلوب خدمتها بخطوط الصرف وكذلك أماكن مواسير صرف الأمطار ومواسير المياه والغاز. فى المناطق الحضرية فإن زيادة كثافة المرافق الأخرى تحت سطح الأرض عادة يكون سببا فى تعقيد التصميم والإنشاء لخطوط مواسير الصرف الجديدة.

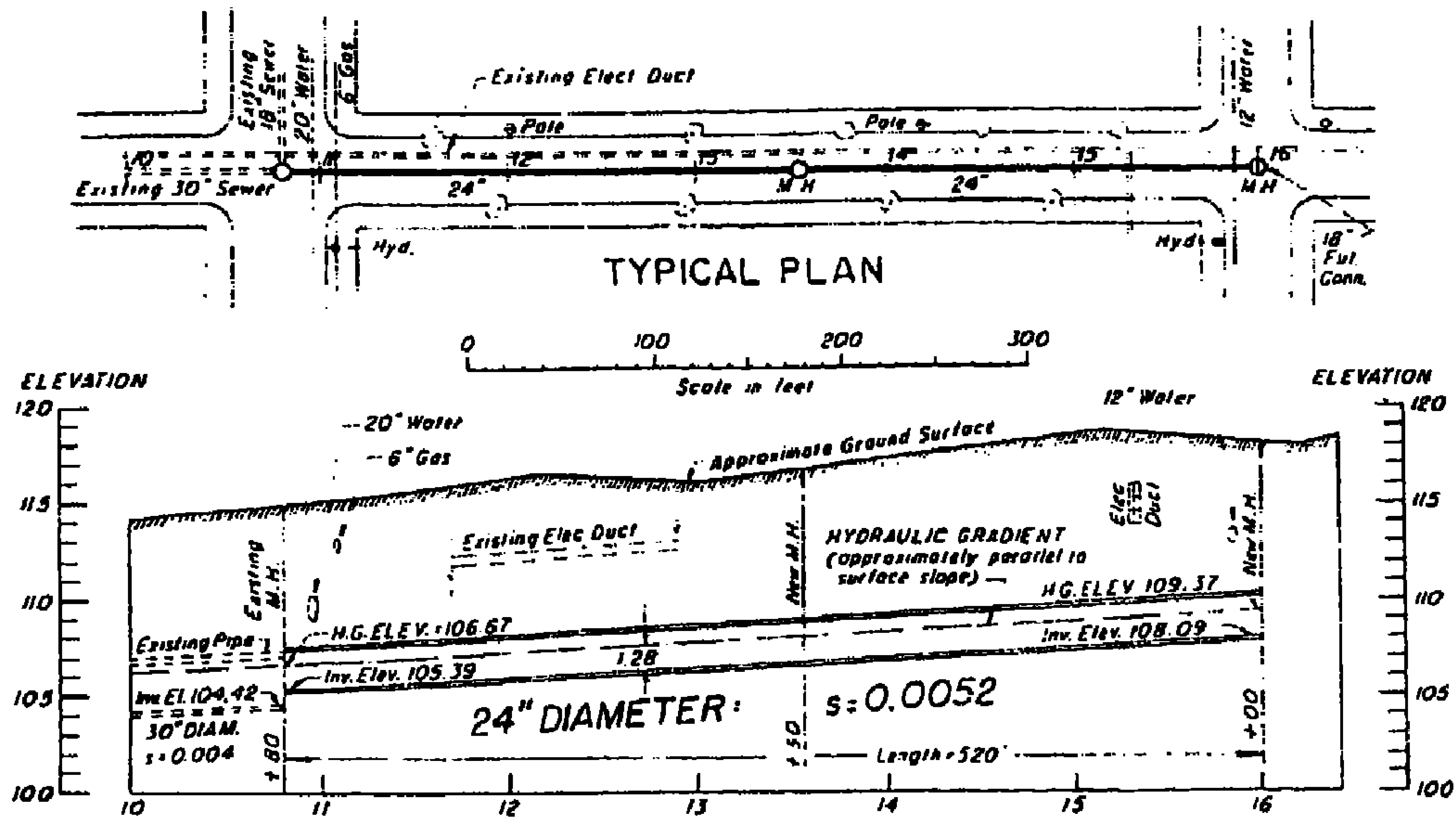
الأشكال الجانبية للشوارع والمرافق يتم رسمها عموماً أسفل المخطط الراسى مباشرة.

هذا الإسقاط والرسومات الجانبية تعمل كرسومات عملية أثناء مرحلة التصميم التفصيلى. التصميم النهائى للنظام يتم عندئذ إضافته للرسومات والتى تعمل كجزء من وثائق مقاولة الإنشاء. البيانات من أعمال حساب التربة، متضمنة العمق إلى الطبقة الصخرية والمياه الجوفية، يتم توضيحها كذلك على المخططات، وأحيانا تسجيلات الحفر يتم تضمينها مع وثائق المقاولة.

الرسومات الإنشائية لنظام شبكة مواسير الصرف يجب أن تبين مكان وعمق وقطر وميل خط المواسير بما يمكن مقاول الإنشاء من سرعة الحفر للخندق ووضع مقاطع المواسير عند المكان المناسب وبالميل المناسب. نموذج لإسقاط خط المواسير والشكل الجانبى موضح فى الشكل (٥/٧). بالإضافة إلى توضيح قطر الماسورة والميل، فإن الرسومات تبين أماكن غرف التفتيش، وارتفاع القاع السفلى الداخلى للماسورة منسوباً إلى منسوب سطح البحر (Pipe Invert Elevation). سيتم مناقشة هذا فى مثال خلال هذا الفصل.

تفاصيل الإسقاط والشكل الجانبى : Plan and Profile Details

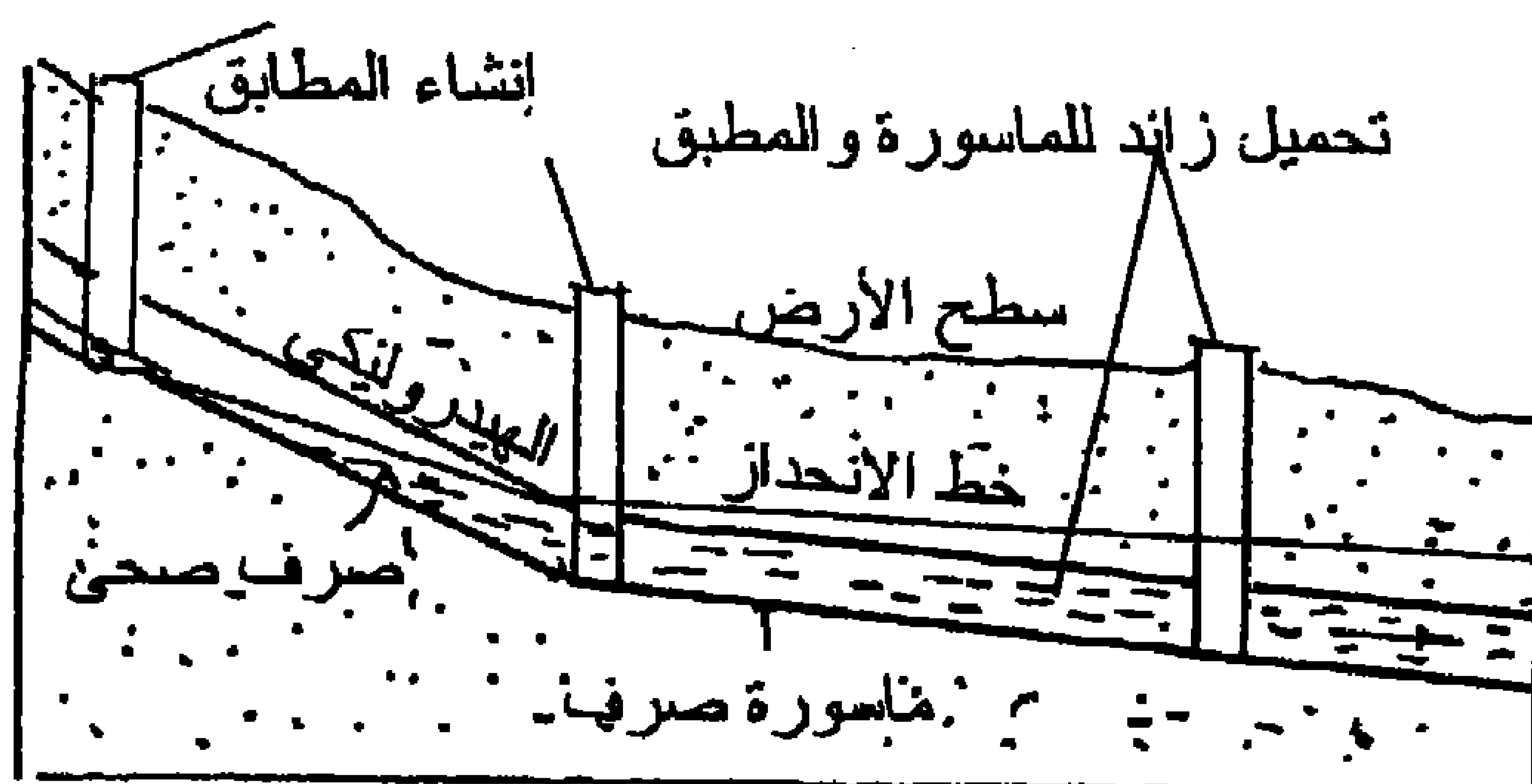
فى الشكل (٥/٧) المسقط العلوى لخط المواسير موضح فوق المنظر الجانبى مباشرة، وكلا الشكلين مستقيمين. وهذه ليست الواقع. خطوط مواسير الصرف يمكن أن تغير اتجاهها عدة مرات فى المسقط الرأسى، ولكنها تظل دائماً فى منسوب مستوى على الرسم الجانبى، وبذلك تظهر كخط مستقيم. المقياس الرأسى للمنظر الجانبى يتم تكبيره بنسبة ١٠:١ للتوضيح وتقدير الارتفاعات الهامة والميول. كثيراً من الرسومات التنفيذية لشبكة المواسير تحتوى على مصطلحات ورموز، والتى تستخدم لتعيين المسافة من نقطة البداية (عادة غطاء غرفة تفتيش) فى تقاطع الطريق.



شكل (٥/٧) مسقط رأسى وجانبى لخط مواسير الصرف الصحى والذى يوضح مكان، عمق، وقطر وميل خط المواسير، وكذلك مكان خطوط الخدمة الأخرى

كمية الصرف الصحى : (Quantity of Sewage)

قبل تعيين قطر وميل الماسورة فإنه من الضرورى وجود تقدير لكمية مياه الصرف الذى سوف تحمله. فى الواقع، كمية مياه الصرف التى تحملها الماسورة ليست ثابتة مع الوقت. معدل التدفق يتغير خلال اليوم، موضح فى الشكل (٥/٨). يجب تصميم مواسير الصرف لتحمل أقصى معدل تدفق وليس متوسط معدل التدفق. وكذلك يجب أن تحافظ على سرعة التنظيف الذاتى. قد يتم تصميم الفرعات لتكون ذات طاقة تدفق ممتلئة أى ٤ أضعاف معدل التدفق المتوسط. خطوط الصرف الرئيسية (التجميع) يجب أن تكون طاقتها ٢,٥ ضعف متوسط التدفق.



شكل (٥/٨) عندما يكون قطر ماسورة الصرف والميل ليسا مناسبين لحمل التدفقات القصوى لميل الصرف، فإن النظام يصبح فى حالة التحميل الزائد مؤقتاً.

أقصى معدلات للتدفق تأكيدها قليل فى مواسير الصرف كبيرة القطر ذلك لأن كل مصادر صرف المياه فى منطقة كبيرة ليس من المحتم أن تنتج صرف فى الشبكة فى نفس الوقت. ولذلك، فإن هذا ينظم الإطار العام للتدفق، مع الوقت، تصل مياه الصرف إلى محطة المعالجة، حيث يوجد تغيرات كثيرة بالنسبة لأقصى تدفق، التدفق المتوسط، أدنى تدفق أكثر مما كان موجوداً فى الفرعات الجانبية.

من المهم عمل التقدير الجيد لمعدلات التدفق قبل تصميم شبكة الصرف. فى حالة قلة التقدير لكمية الصرف الصحى، فإن قطر الماسورة سوف يكون صغيراً وكذلك الميل بالنسبة لحمل أقصى معدلات للتدفق. وهذا يسمى دون التصميم (Under Design)، ويمكن أن ينتج عنه التحميل الزائد لجزء من شبكة الصرف.

يحدث التحميل الزائد لشبكة الصرف عند ارتداد مياه الصرف من المطبق وخط الانحدار الهيدروليكى يكون فوق السطح العلوى للماسورة. وهذا موضح فى الشكل (٥/٩). فى الحالات الحادة للتحميل الزائد فإنه قد يحدث طفح لمياه الصرف من غرفة التفتيش ثم إلى الشارع، كما يمكن أن يرتد إلى الأجزاء السفلى من المنازل المرتبطة بالخط. يحدث التحميل الزائد فى شبكة الصرف بسبب التصميم الضعيف أو بسبب التدفقات الزائدة جداً.

التصميم الضعيف والتحميل الزائد من المشاكل المتعلقة بعدم التقدير الدقيق لتدفق مياه الصرف. مشكلة أخرى تحدث فى حالة التقدير الزائد لمياه الصرف بما ينتج عنه تصميم زائد فى النظام، ليس بسبب زيادة تكاليف الإنشاء فقط ولكن استغلال أكبر من مساحات الأرض.

معدلات تدفق مياه الصرف تعتمد على عدة عوامل، منها الكثافة السكانية، معدل استهلاك الفرد للماء، الأنشطة التجارية والصناعية. كمية المياه الأرضية التى تتسرب إلى خط المواسير يجب كذلك أن تؤخذ فى الاعتبار.

الكثافة السكانية يعبر عنها بعدد السكان فى الهكتار أو الفدان أو الكيلو متر المربع. خطوط مواسير الصرف تصمم عموماً لحمل أقصى تدفقات من أقصى كثافة سكانية للمنطقة المحلية المخدومة. تقدير التعداد السكانى يكون عادة متاح.

تقريباً حوالى ٧٥% من استخدامات الفرد للمياه تصبح مياه صرف، ذلك لفقد بعضاً من المياه لرى الحدائق وغسيل العربات والاستخدامات الأخرى التى تحد من وصوله إلى شبكة الصرف، فى بعض الحالات تكون كمية التسرب فى شبكة الصرف أكثر من التعويض عن هذا الفقد. للأغراض العملية، عندئذ، يفترض أن متوسط صرف مياه الصرف الصحى هو نفس المستوى لمتوسط استخدام المياه فى المجتمع.

على المستوى العام المعدل المتوسط لصرف مياه الصرف هو حوالى من ٢٠٠ إلى ٤٠٠ لتر فى اليوم. طبيعى فى حالة توفر بيانات أكثر دقة مثل تلك البيانات من دراسات تدفق مياه الصرف لشبكة مجاورة مشابهة فى المساحة، وهذه تستخدم لتقدير كميات التدفق.

على الخرائط التى توضح أوضاع شبكة الصرف، فإن المساحة الكلية التى تحتوى قطاعات الصرف يتم تحديدها بواسطة المصمم. القطاع لأغراض التصميم هو عبارة عن طول خط المواسير بين مطبقين، والذى يسمى وصلة مواسير الصرف (Sewer

Reach). الوصلة لخط المواسير تكون ذات قطر ثابت وميل ثابت. حدود المنطقة التابعة تشابه تقريباً لخط تقسيم الصرف، ولكنها لا تتبع نفس القواعد المتعلقة بخطوط الكنتور واتجاه التدفق. ذلك لأن التدفق يكون محتجزاً ويجب أن يتبع اتجاه وصلات الخدمة وخط الصرف نفسه.

بعد رسم الحدود التابعة لكل وصلة مواسير بين مطبقين، فإنه يمكن تعيين المساحة. بالنسبة للأشكال المربعة أو المستطيلة يمكن بسهولة حساب المساحات باستخدام الأبعاد من الخريطة ذات المقياس. بالنسبة للمساحات ذات الشكل الغير منتظم، يمكن استخدام جهاز (Planimeter) لتتبع الحدود وتعيين المساحة المحصورة. درجة الدقة العالية فى تعريف الحدود عادة ليس مطلوباً ذلك لعدم تأكيد الكثافة السكانية ومعدلات التدفق للفرد.

بالنسبة لوصلة مواسير الصرف بين مطبقين، فإن تصميم التدفق يؤخذ كمحصلة لثلاثة عوامل، المساحة التى سيتم خدمتها، الكثافة السكانية لهذه المساحة، وتقدير معدلات الصرف القصوى للفرد.

مثال :

وصلة مواسير صرف بين مطبقين مطلوب تصميمها لاستقبال تدفق من مجتمع مساحته ١٠٠ هكتار حيث الكثافة السكانية تقدر بمتوسط ٢٥ فرد فى الهكتار. متوسط تدفقات الصرف للفرد تقدر بحوالى ٤٠٠ لتر فى اليوم. احسب تصميم التدفق لهذه الوصلة باللتر فى الثانية.

الحل :

أولاً، يتم تعيين أقصى معدل تدفق للفرد. بفرض أن الفرعات المستخدمة يجب أن تصمم لتحمل معدل تدفق أربعة أضعاف المتوسط.

أقصى تدفق = ٤ × ٤٠٠ لتر/ اليوم/ الفرد.

= ١٦٠٠ لتر/ اليوم/ الفرد.

تصميم معدل التدفق للوصلة بين مطبقين يتم عندئذ حسابها كالآتى :

١٠٠ هكتار × ٢٥ فرد فى الهكتار × ١٦٠٠ لتر/ اليوم / الفرد

= ٤,٠٠٠,٠٠٠ لتر/اليوم أو ٤ مليون لتر/ اليوم

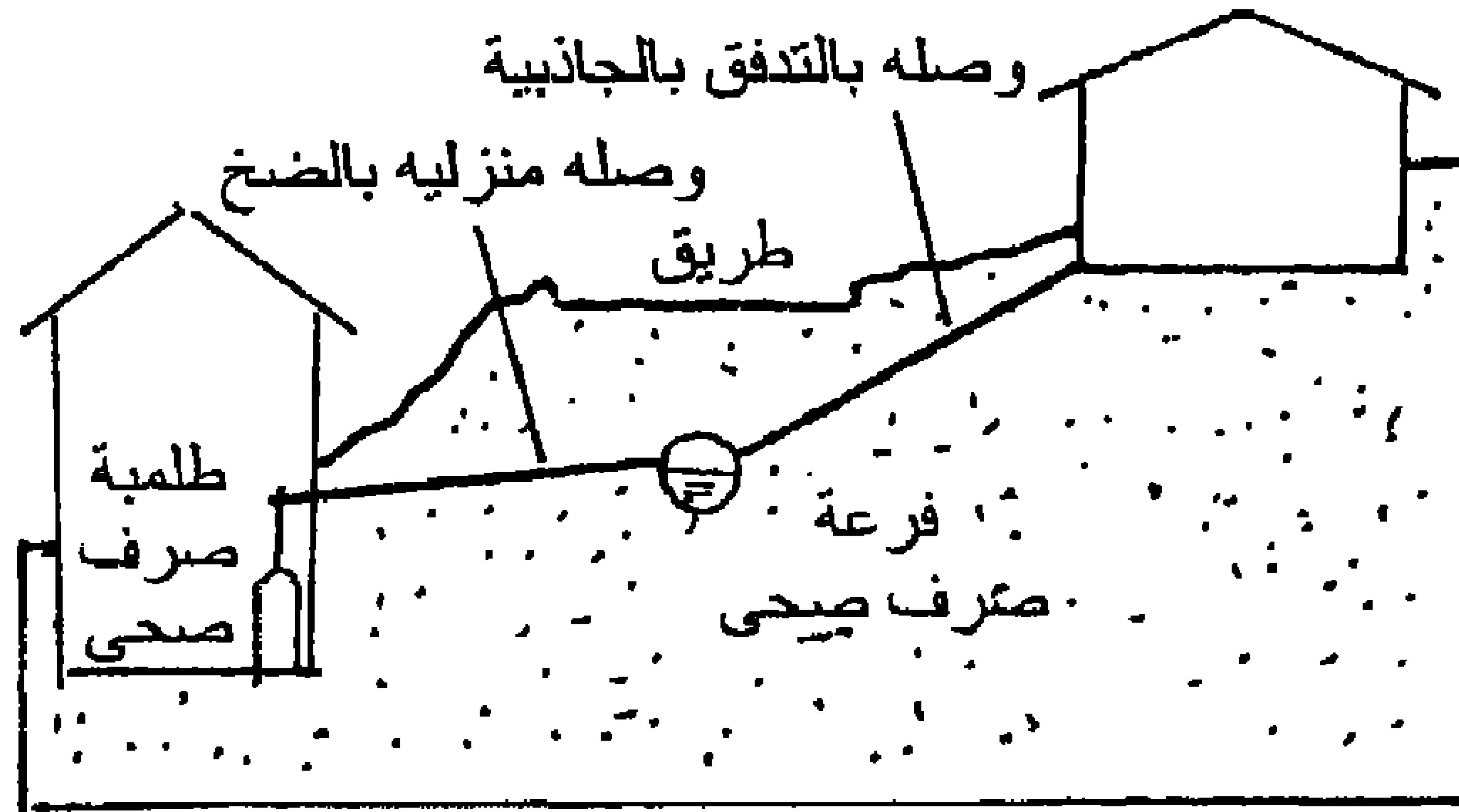
و ٤ × $١٠^{٦}$ لتر/ اليوم × ١ يوم÷ ٢٤ ساعة × ١ ساعة ÷ ٣٦٠٠ ثانية

= ٤٦ لترا في الثانية

عادة يبدأ التصميم عند الوصلة العليا للشبكة ثم يتقدم تحت التيار، حيث تتجمع المساحات الفرعية والسكان على طول المسار. يستمر ذلك حتى حدوث الاتصال مع وصلة صرف قادمة، عند هذه النقطة فإن الوصلة العليا ثم باقى الفرعة يستم تصميمها. وصلة المواسير تحت التيار مباشرة للاتصال يجب تصميمها لاحتواء إجمالى السكان وتدفقات الصرف من الفرعات قبلها.

حدود العمق والسرعة :

من الناحية العملية يتم وضع خطوط مواسير الصرف الصحى بالعمق الكافى فى التربة لإمكان استقبال تدفقات مياه الصرف بالجاذبية من المنشآت والمنازل. ولكن المبانى والأدوار السفلى العميقة تحت منسوب الشارع نظراً لهذا العمق فإنها تتطلب وحدات ضخ مستقلة لرفع مياه الصرف إلى مواسير الصرف العامة. هذه الحالة موضحة فى الشكل (٥/٩).



شكل (٥/٩) مواسير الصرف لا يمكن دائماً وضعها عميقة فى الأرض لإمكان التدفق بالجاذبية من كل الوصلات الخدمة. يمكن استخدام طلمبات رفع للصرف منفردة بواسطة بعض أصحاب العقارات.

عموماً يتم المحافظة على غطاء بسمك ٢ متر فوق السطح العلوى للماسورة ولكن عملية التصميم قد تختلف فى هذا الأمر. زيادة الأعماق تحتاج إلى حفر أكثر وتزيد من تكاليف الإنشاء. عموماً أعماق خطوط مواسير الصرف لا تزيد عن ٦ متر.

من الناحية العملية يتم اختيار قطر وشكل مواسير الصرف بحيث أن سرعة التدفق الممتلئ لا تزيد عن ٠,٦ متر فى الثانية. وهذا يسمى أدنى سرعة تنظيف ذاتى ذلك لأنها السرعة التى تحافظ على أن تكون المواد الصلبة فى الصرف تظل عالقة فــى التـدفق.

السرعات المنخفضة تعمل على ترسيب المواد الصلبة فى الماسورة، وبذلك تحدث إنسدادات وإعاقة للتدفق تقليل من طاقة خط الصرف.

الحد العلوى لسرعة التدفق هى ٣ متر فى الثانية لمنع زيادة الاحتكاك والبلى لجدار الماسورة بفعل الرمال التى تحملها مياه الصرف. بالنسبة لقطر معين أو ميل لخط المواسير، يمكن استخدام معادجة أو مخطط ماتنج لمراجعة أن سرعة التدفق الممتلئ تكون خلال المجال المسموح به. فمثلاً، أدنى ميل لماسورة ٣٠٠ مليمتر (١٢ بوصة) بالتدفق الممتلئ هو ٠,٢ % (٠,٠٠٢) ذلك لاستمرار سرعة التنظيف الذاتى.

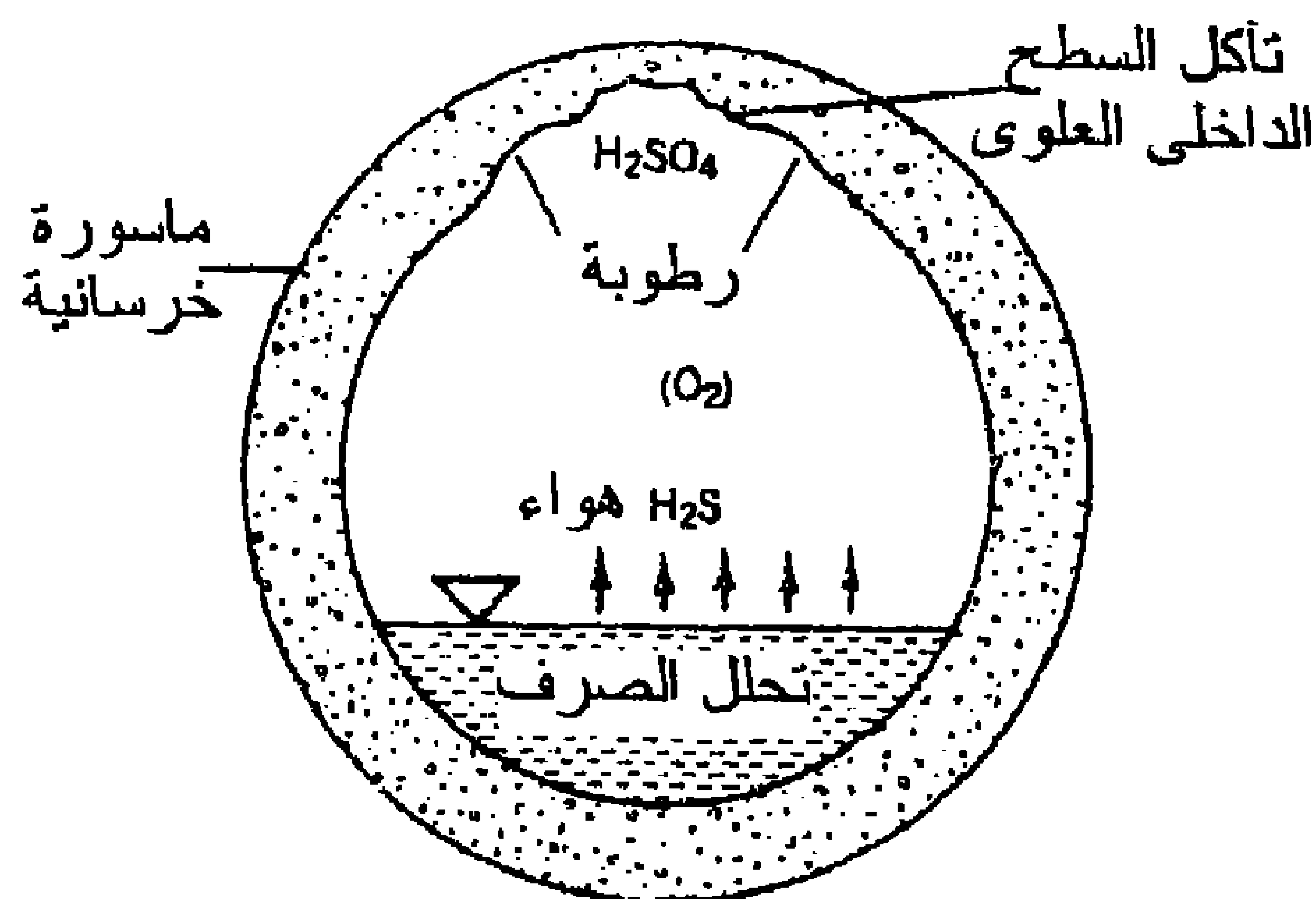
تآكل السقف العلوى الداخلى للماسورة : (Crown Corrosion)

عند انخفاض سرعة التدفق فى خط مواسير الصرف إلى أقل من سرعة التنظيف الذاتى، فانه تتكون ترسيبات حمأة فى خط المواسير. مع تحلل الحمأة فإن الأكسجين المذاب في مياه الصرف يقل، بما ينتج عنه حالة تحلل لا هوائية. حتى أن المواد الصلبة المتبقية يكون لها الوقت الكافي للتحلل في خط المواسير ذلك لطول زمن الرحلة قبل الوصول إلى محطة المعالجة.

مياه الصرف الصحى تحتوى على مركبات الكبريتات (SO_4^-)، والتى تتحول إلى كبريتيد الهيدروجين الغاز (H_2S) بواسطة البكتريا اللاهوائية.

هذا ينتج عنه رائحة البيض الفاسد لسائل الصرف. ولكن يمكن أن تحدث مشكلة إنشائية حادة فى خطوط المواسير الخرسانية. فى خطوط المواسير بالجاذبية، والتى بها هواء ورطوبة فى الماسورة فوق تدفقات مياه الصرف، فإن البكتريا الهوائية الملتصقة بالسقف العلوى الداخلى للماسورة (Crown) تؤكسد H_2S وتحوله إلى حامض كبريتيك (H_2SO_4). وهذا موضح فى الشكل (١٠/٥). حامض الكبريتيك يتفاعل مع الخرسانة ويضعفها مسبباً مشكلة التآكل للسقف العلوى الداخلى للماسورة. فى الحالات الحادة يحدث انهياراً لخطوط مواسير الصرف الخرسانية بفعل التآكل، بما يتطلب الإصلاح العاجل والمكلف.

التصميم الهيدروليكى المناسب لنظم الصرف الذى يحقق المحافظة على سرعة التدفق للتنظيف الذاتى يمكن أن يساعد فى تجنب هذه المشكلة.



شكل (٥/١٠) تآكل السطح الداخلى العلوى للماسورة الخرسانية الغير مبطنة يمكن أن يؤدى إلى تدمير خط المواسير.

القطر، الميل، وارتفاعات السطح الداخلى السفلى للماسورة :

Size, Slope, and Invert Elevations

لتقليل كمية الحفر فإن ميل المواسير يجب أن يتبع ميل الأرض ما أمكن ذلك. طريقة التصميم التقليدية تبدأ باختبار الشكل الجانبى للشارع لتعيين متوسط ميل الأرض للوصلة من المواسير بين مطبقين (غرفتين تفتيش). يستخدم مخططماننج لتعيين أصغر قطر قياسى للماسورة الذى سوف يحمل التدفق التصميمى لهذه الوصلة عند نفس الميل مثل مسطح الأرض. لهذا القطر والميل يتم عندئذ مراجعة السرعة لتأكيد أنها خلال الحدود المقبولة.

يتم عندئذ عمل الضبط المناسب إما لميل الماسورة أو للقطر طبقاً للمطلوب. فمثلاً، إذا كانت السرعة منخفضة جداً أو إذا كان المطلوب ماسورة ذات قطر كبير جداً، فإن المصمم يمكن أن يزيد من ميل الماسورة. زيادة الميل يزيد من سرعة التدفق ويقلل من القطر المطلوب للماسورة. ولكن المصمم يجب أن يراعى أن الميول الحادة تجعل من الضرورى وضع خط المواسير على عمق أكبر فى الأرض، بما يزيد من تكاليف الحفر.

فرعات مواسير الصرف الصحى تكون عموماً ذات قطر لا يقل عن ٨ بوصات، مهما كان التدفق التصميمى صغيراً، هذا القطر الأصغر يقلل من حدوث الانسداد للماسورة ويسهل من عمليات الصيانة. ولكن المعدلات المنخفضة للتدفقات عند الوصلات العليا بين المطابق للنظام تؤدى إلى انخفاض سرعات التدفق فى هذه الوصلات ذات

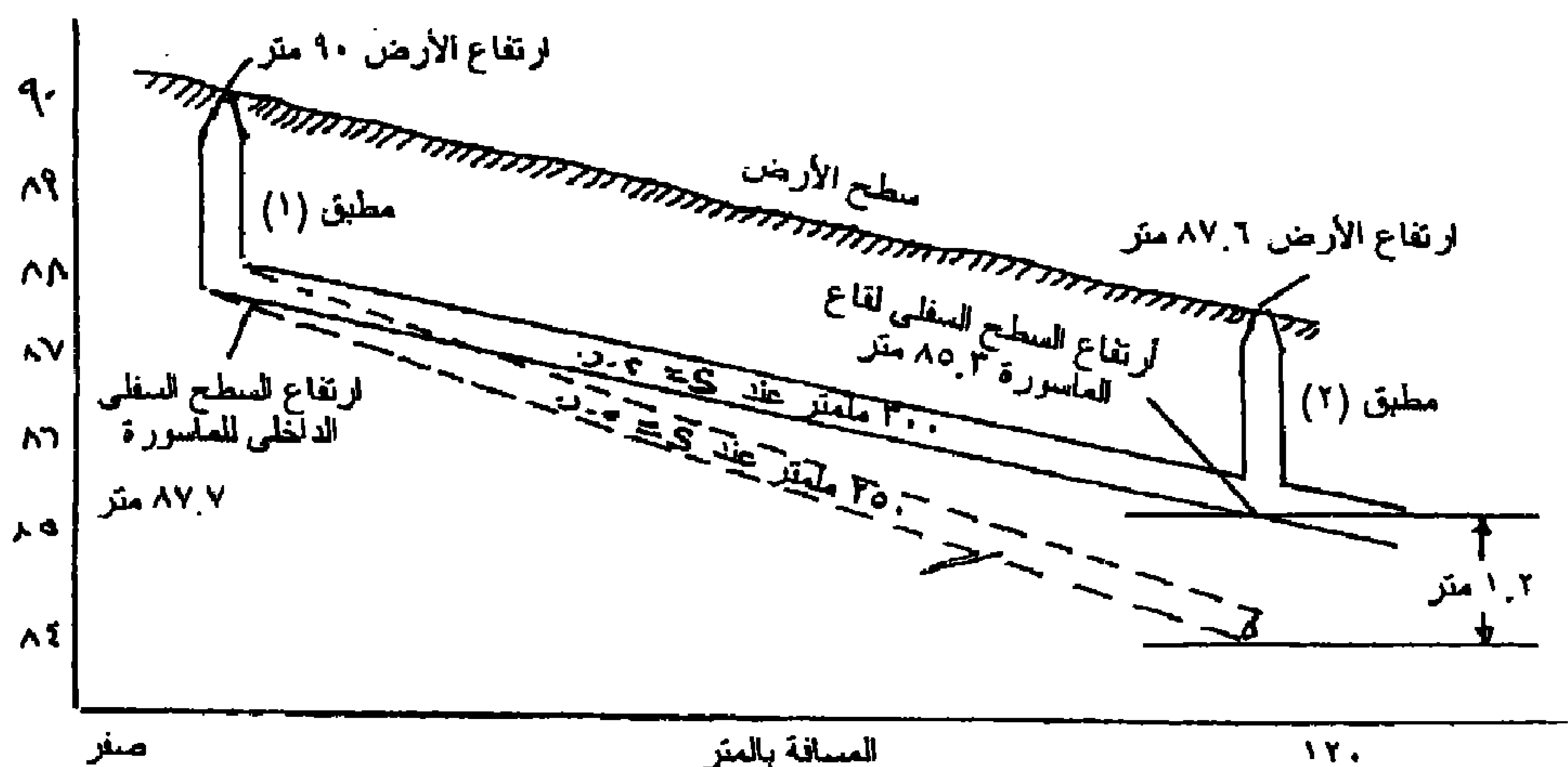
القطر الزائد، وهذه تحتاج إلى الدفق الروتيني والنظافة لإخلائها من رواسب الحمأة والإنسدادات.

عند تعيين قطر الماسورة والميل، فإنه يمكن تعيين ارتفاع السطح الداخلي السفلي للماسورة ويمكن رسم الشكل الجانبي لخط المواسير (The Invert Elevation). عادة أدنى عمق لغطاء التربة فوق السطح العلوى للماسورة يتم توصيفه. يتم حساب ارتفاع السطحي الداخلي السفلي للماسورة وذلك بطرح طبقة التغطية من التربة وقطر الماسورة في ارتفاع الأرض عند غرفة التفتيش أو بمطابقة ارتفاع السطح العلوي للماسورة شكل (٥/١١).

طريقة التصميم لمواسير الصرف موضحة في المثال التالي :

مثال :

قطاع مواسير بطول ١٢٠ متر بين مطبقين مطلوب تصميمه بطاقة تدفق ١٠٠ لتر فى الثانية. ارتفاع الشارع عند أعلى مطبق (غرفة تفتيش) هو ٩٠ متراً وعند أوطى مطبق هو ٨٧,٦ متراً كما هو موضح في الشكل (٥/١١). عين القطر المناسب للماسورة والميل لهذا القطاع من المواسير، وعين ارتفاع السطح الداخلي السفلي للماسورة عند أعلى وأوطى مطبق. افترض أدنى غطاء من التربة ٢ متراً فوق السطح العلوى للماسورة.



شكل (٥/١١) توضيح للمثال

الحل :

ارتفاع الأرض ينقص ٩٠ – ٨٧,٦ = ٢,٤ متر.

ميل الأرض عند هذا التغير فى الارتفاع مقسوماً على المسافة الأفقية أو الميل = ٢,٤ ÷ ١٢٠ = ٠,٠٢ والآن استخدم مخطط ما ننتج شكل (٢/٢١). عند الميـل = ٠,٠٢، التصرف = ١٠٠ لتر/ الثانية أو ٠,١ متر مكعب/ الثانية. الخط المستقيم الموصل الميل (S) مع التصرف (Q) يقطع محور القطر عن ٢٦سم أو ٢٦٠ مليمتر.

من الضرورى اختيار قطر ماسورة قياسى ذلك المتاح إنتاجه طبقاً للمواصفات. يـتم اختيار القطر ٢٥٠ مليمتر ولكن الميل بالنسبة لهذه الماسورة سيكون أكثر حـدة حـوالى ٠,٠٣ ليكون لها طاقة ١٠٠ لتر/ الثانية طبقاً لمخطط مانتج. مع الميل ٠,٠٣ فإن طـول المواسير بين مطبقين سو ف يقل بحوالى ٠,٠٣ × ١٢٠ متر = ٣,٦ متر فى الارتفاع.

لنبدأ بالغطاء ٢ متراً عند النهاية العليا، فهى سوف تكون عندئذ ٣,٢ متراً من الغطاء عند النهاية السفلى. بمعنى آخر الغطاء الزائد سيكون ٣,٢ – ٢ = ١,٢ متراً.

يمكن أن يكون من المفضل اختيار ماسورة ذات قطر أكبر ٣٠٠ مليمتر وإقامتها عند ميـل ٠,٠٢ موازياً لسطح الأرض. هذا سوف يحافظ على ثبات عمق الغطاء عنـد ٢ متـر وكـذلك يتطلب حفر أقل مما تحتاجه الماسورة ٢٥٠ مليمتراً. من المهم ملاحظة أن الـوفر فـى الحفـر سيكون أكثر من ذلك لقطاع المواسير الواحد فى حالة استخدام ماسورة ٢٥٠ مليمتراً فإن العمـق الزائد ١,٢ متراً سوف يتم حمله خلال باقى خط الصرف تحت التيار لهذا القطاع.

لاحظ أن طاقة التدفق الممتلئ للماسورة ٣٠٠ مليمتر الموضوعة علـى ميـل ٠,٠٢ تكون أكثر من المطلوب ١٠٠ لتر/ الثانية من مخطط مانتج. يلاحظ أن الطاقة الحقيقيـة للتدفق الممتلئ هى ١٣٥لتر/الثانية (٠,١٣٥ متر مكعب/ الثانية). حالات التدفق الجزئـى يمكن تقديرها باستخدام الشكل (٢/٢٢). إذا كانت q = ١٠٠ لتر/ الثانية عندئـذ النـسبة

$\frac{q}{Q}$ = ١٠٠÷ ١٣٥ = ٠,٧٤ ، Q:d = ٠,٦٣ تقرأ من مخطط التدفق الجزئى.

من هذا d = ٠,٦٣ × D = ٠,٦٣ × ٣٠٠ = ١٩٠ مليمتر.

سرعة التدفق الممتلئ V = ١,٩٥ م/ث من المخطط

بالنسبة لـ D:d = ٠,٦٣، اقرأ υ ÷ V = ١,٠٨ من مخطط التدفق الجزئى. من هذا v = ١,٠٨ × V = ١,٠٨ × ١,٩٥ = ٢,١ متر/ الثانية.

لنختار قطر الماسورة ٣٠٠ مليمتر والميل ٠,٠٢ لهذا القطاع واحسب ارتفاع السطح الكلى الداخلى للماسورة.

يتم حساب الارتفاع العلوى للسطح الداخلى السفلى للماسورة كالآتى :

= ارتفاع سطح الأرض – الغطاء – قطر الماسورة.

= ٩٠ متر – ٢ متر – ٠,٣ متر = ٨٧,٧ متر

السقوط فى الارتفاع لمقطع المواسير خلال طول المقطع بين المطبقتين هو ناتج الميل والمسافة كالآتى :

سقوط المواسير = ٠,٠٢ × ١٢٠ متر = ٢,٤ متر

ولذلك الارتفاع السفلى للسطح الداخلى السفلى للماسورة كالآتى:

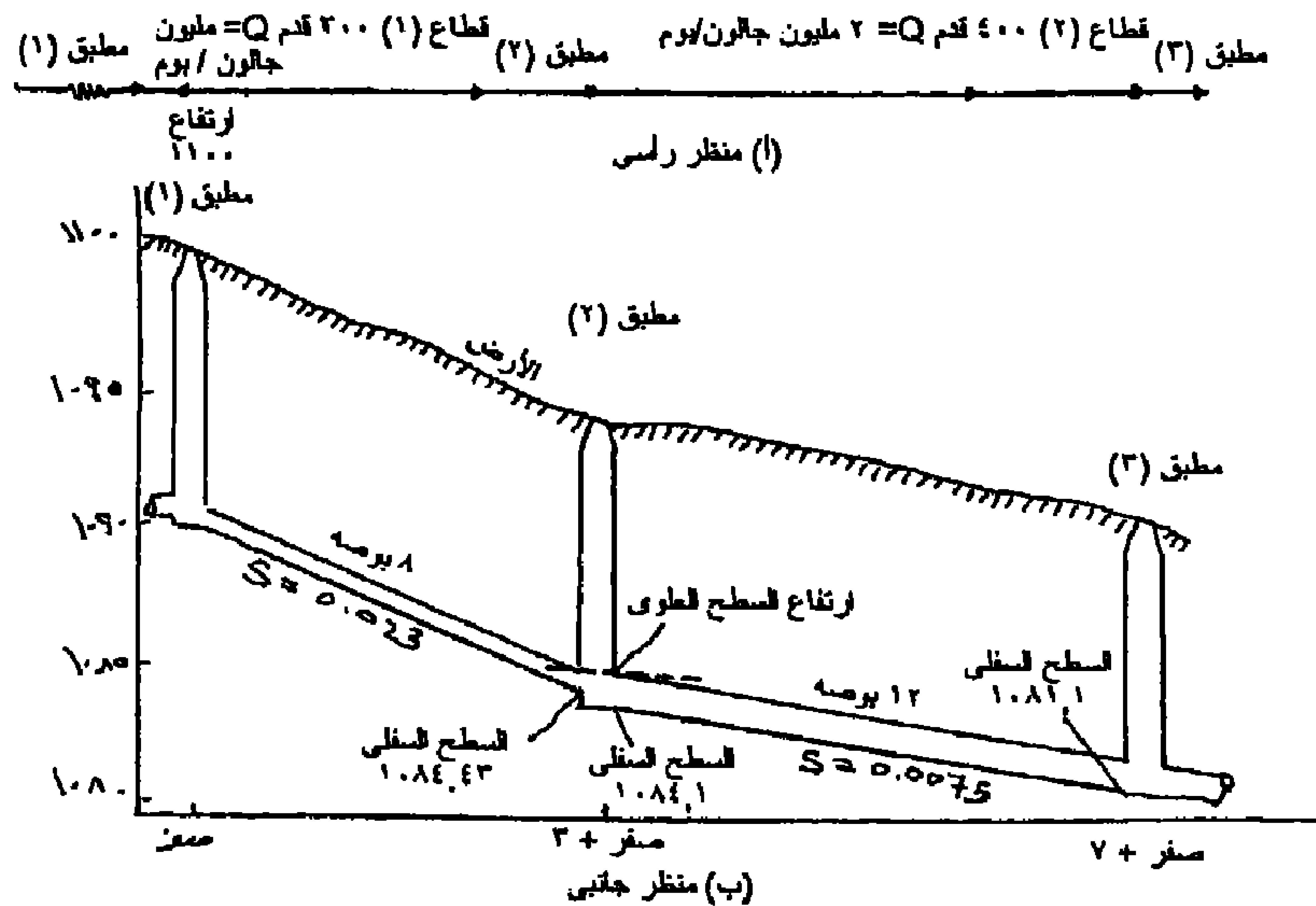
= الارتفاع العلوى للسطح الداخلى السفلى للماسورة – السقوط فى المواسير

= ٨٧,٧ – ٢,٤ = ٨٥,٣

وهذا موضح فى الشكل (٥/١١).

مثال :

المطلوب تصميم قطاعين للمواسير بين المطابق فى الشكل (٥/١٢) تصميم التدفق للقطاع (١) هو مليون جالون فى اليوم، للقطاع (٢) هو ٢ مليون جالون فى اليوم. ارتفاع سطح الأرض عند المطبق الأول هو ١١٠٠ قدم وعند رقم ٢ هو ١٠٩٣ قدم، وعند رقم ٣ هو ١٠٩٠ قدم. استخدم أدنى غطاء ٨ قدم.



شكل (٥/١٢) توضيح للمثال

الحل :

بالنسبة للقطاع (١) يتم حساب ميل الأرض كالآتى :

S = ١١٠٠ - ١٠٩٣ ÷ ٣٠٠ = ٧ ÷ ٣٠٠ = ٠,٠٢٣

باستخدام مخططماننج فى الشكل (٢/٢١)، أولا يتم تحويل معدل التدفق من وحدات مليون جالون فى اليوم إلى جالون فى الدقيقة كالآتى :

Q = ١,٠٠٠,٠٠٠ (جالون / يوم) × (١ يوم / ٢٤ ساعة) × (١ ساعة / ٦٠ دقيقة)

= ٦٩٠ جالون فى الدقيقة

الآن يتم الدخول على المخطط حيث Q = ٦٩٠ جالون فى الدقيقة،

S = ٠,٠٢٣ يتم اختيار قطر الماسورة ٨ بوصات. طاقة التدفق الممتلئ الحقيقية لماسورة قطر ٨ بوصات عند هذا الميل هى حوالى ٨٤٠ جالون فى الدقيقة، والسرعة حوالى ٥,٣ قدم/الثانية.

ارتفاع القاع السفلى للماسورة (Invert Elevation) يتم حسابه كالآتى :

الارتفاع العلوى للسطح السفلى للماسورة = ١١٠٠ قدم - ٨ قدم - ٨÷١٢ قدم

= ١٠٩١,٣٣ قدم

سقوط قطاع المواسير = ٠,٠٢٣ × ٣٠٠ قدم = ٦,٩ قدم

الارتفاع السفلى للسطح السفلى للماسورة = ١٠٩١,٣٣ - ٦,٩ = ١٠٤٨,٤٣

بالنسبة للقطاع رقم (٢) بين المطبق (٢) والمطبق (٣).

يتم حساب ميل الأرض كالآتى :

S = ١٠٩٣ - ١٠٩٠ ÷ ٤٠٠ = ٣÷٤٠٠ = ٠,٠٠٧٥

من مخطط ماننج حيث الميل (S) = ٠,٠٠٧٥، والتصرف Q

= ١٣٨٠ جالون فى الدقيقة، اختار ماسورة بقطر ١٢ بوصة.

السرعة هى ٣,٩ قدم/ الثانية. لتعيين الارتفاع العلوى للسطح السفلى للماسورة (Upper Invert Elevation) ١٢ بوصة، يتم مطابقة ارتفاع سطحها العلوى مع ذلك للماسورة ٨ بوصة فى المقطع رقم (١)، كالآتى :

ارتفاع السطح العلوى للماسورة ٨ بوصات هو ببساطة مجموع الارتفاع للسطح السفلى للماسورة وقطر الماسورة أو

١٠٨٤,٤٣ قدم + ٨÷١٢ قدم = ١٠٨٥,١ قدم

سقوط قطاع المواسير هو ٠,٠٠٧٥ × ٤٠٠ قدم = ٣ قدم

و أوطى ارتفاع للسطح العلوى للماسورة = ١٠٨٤,١ - ٣ = ١٠٨١,١

وهذا موضح فى الشكل (١٢/٥).

الطفح فى شبكة الصرف الصحى : (Sanitary Sewer Over Flow)

الطفح فى شبكة الصرف الصحى هو عبارة عن طفح لمياه الصرف الصحى الخام فى الأدوار تحت الأرض (البدرومات) أو خارج غرف التفتيش (المطابق) إلى الشوارع العامة، والمساحات الفضاء، وذلك قبل وصول التدفقات إلى وحدة المعالجة وهذا له تأثير سلبى على الصحة العامة وعلى البيئة.

يحدث الطفح فى معظم شبكات الصرف، حتى فى حالة تصميم الشبكة لحمل أقصى التدفقات للذروة. عند حدوث الطفح فإن السبب عادة يكون ضعف الصيانة والإدارة لنظام جمع مياه الصرف. من بين الأسباب المسببة للطفح هو التسرب للمياه الأرضية فى شبكة الصرف، كذلك تسرب مياه الأمطار والسيول خلال وصلات المواسير أو المواسير التالفة، أو لضعف الإنشاء للوصلات المنزلية التى تصل المنازل إلى المواسير فى الشارع. يمكن خفض هذا التسرب بمراعاة الإنشاء الجيد ومنع التوصيل لمياه الأمطار والسيول وأسباب أخرى تشمل صغر قطر المواسير أو هبوط المواسير أو انسدادها بواسطة جذور النباتات أو الترسيبات.

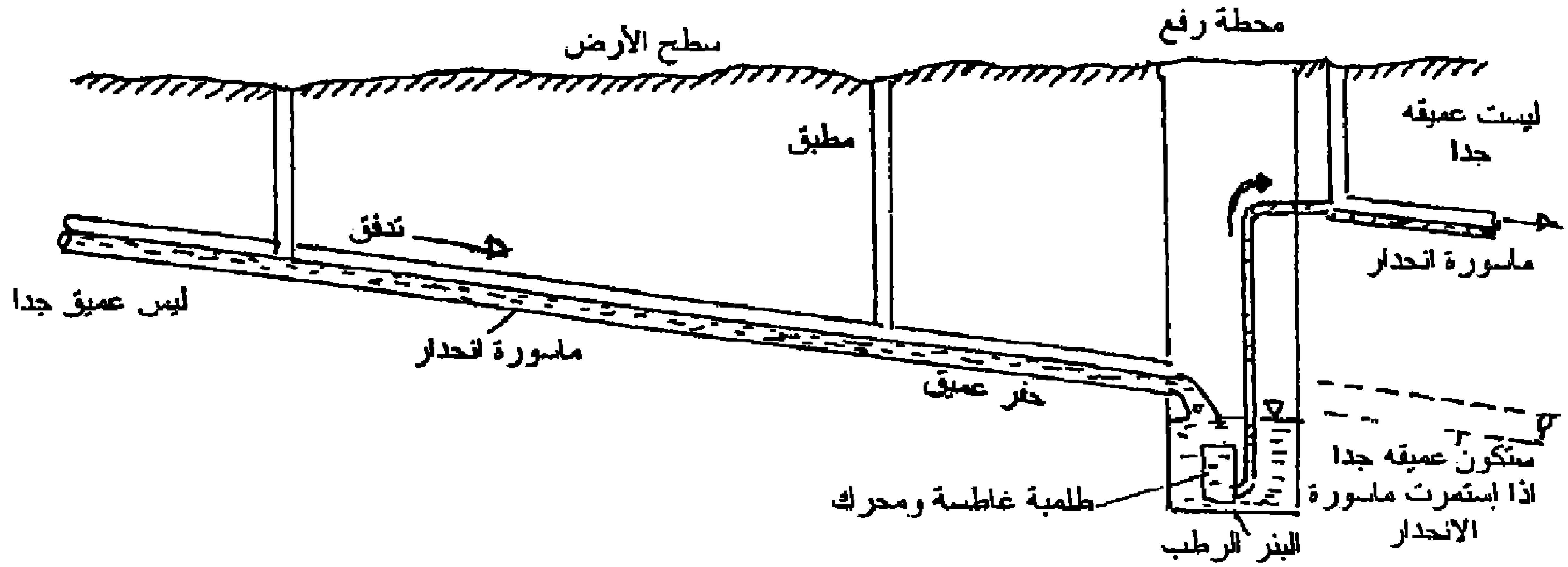
٢- محطات الرفع لمياه الصرف الصحى : (Sewage Lifting Stations)

عادة يتم إنشاء خطوط مواسير الصرف الصحى حسب الميل الطبيعى للأرض بما يمكن مياه الصرف من التدفق بالجاذبية. فى بعض الحالات، يكون من الضرورى ضخ مياه الصرف من نقطة منخفضة إلى ارتفاع أعلى، أما للوصول إلى محطة المعالجة أو إلى خط مواسير آخر يتدفق بالجاذبية.

يستخدم عادة لضخ مياه الصرف طلمبات الطرد المركزى الغير قابلة للانسداد. تصمم الدوافع والغطاء لهذه الطلمبات بما يسمح بمرور المواد الصلبة فى مياه الصرف بما فيها

الأثلام البالية وما شابه ذلك بدون حدوث أى تلف أو انسداد. المنشأ الذى تعمل فيه هذه الطلمبات يسمى محطات الرفع (Lift stations).

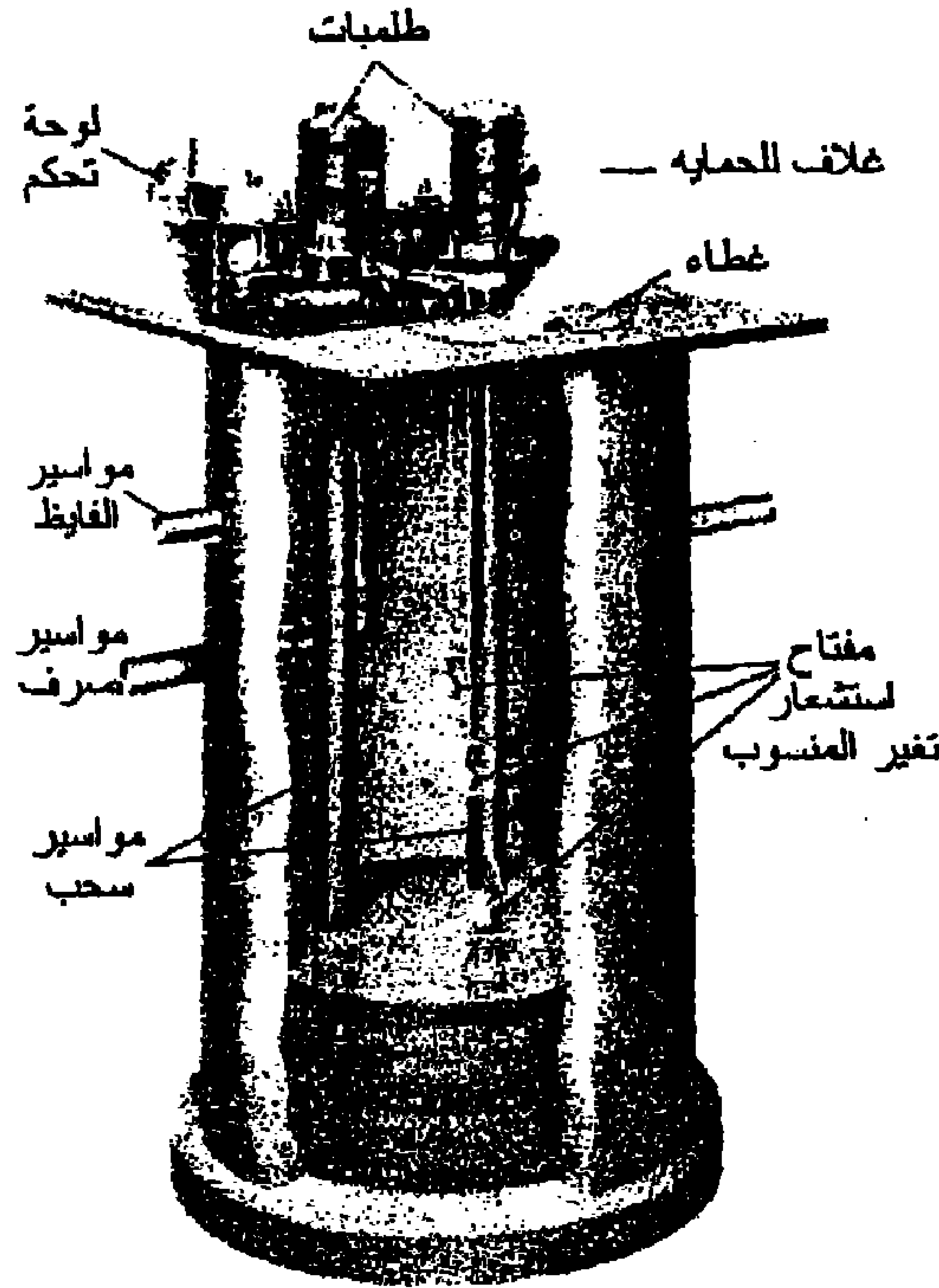
يمكن استخدام محطة الرفع فى المنطقة فبسبب الطبوغرافية المستوية فإن خطوط مواسير الصرف سوف تكون شديدة العمق حتى عند أدنى ميل مطلوب لتحقيق سرعة التنظيف الذاتي. وهذا موضح فى الشكل (٥/١٣).



شكل (٥/١٣) تستخدم محطات الرفع لرفع خط الميل الهيدروليكى فى شبكة الصرف

تزداد تكاليف إنشاء خطوط المواسير مع زيادة عمق الحفر للخندق. عندما يكون ميل خط المواسير شديد الانحدار، فإنه يفضل من الناحية الاقتصادية إقامة وتشغيل محطة رفع وذلك لرفع خط الانحدار الهيدروليكى. حالة أخرى حيث يكون من الضرورى استخدام محطة الرفع عند بناء منطقة صناعية أو سكنية جديدة فى مساحة من الأرض منخفضة وقريباً من نظام شبكة الصرف الصحى. عندئذ يلزم محطة رفع لضخ مياه الصرف من التجمع الجديد إلى الخط الرئيسى.

بالنسبة للنوعين الأساسيين لمحطات الرفع فهما: منشآت البئر الجاف ومنشآت البئر الرطب. إنشاء البئر الرطب له غرفة واحدة فقط لاستقبال وحجز مياه الصرف حتى يتم ضخها. أحد هذا النظام يشمل استخدام طلمبات غاطسة ذات تصميم خاص ومحركات كما فى الشكل (٥/١٣)، حيث الطاقة تنقل بواسطة عامود إدارة رأسى متصل بمحرك مثبت فوق البئر الرطب. فى كلا الحالتين، يلزم رفع الطلمبات إلى خارج البئر الرطب للصيانة. فى نظام آخر، يتم وضع كلا من المحرك والطلمبة فوق البئر الرطب فى غلاف محكم، ولكن عند الرفع بالامتصاص (Suction Lift) يكون من الضرورى تحضير الطلمبة. نموذج لمحطة رفع سابقة التجهيز من هذا النوع موضح فى الشكل (٥/١٤). مفاتيح التشغيل تعمل آلياً وذلك بإيقاف وتشغيل الطلمبة طبقاً لمنسوب المياه فى البئر الرطب.



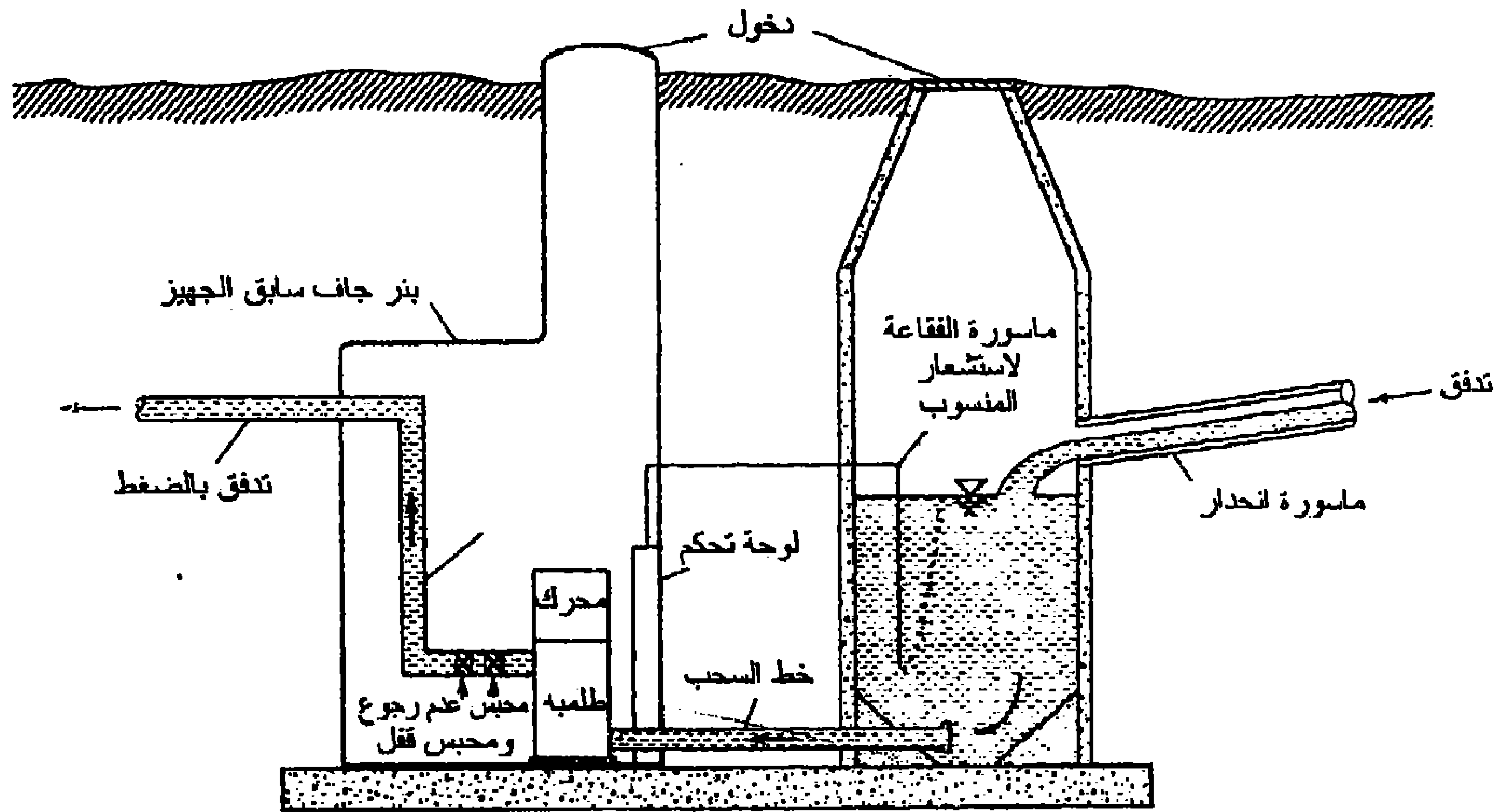
شكل (٥/١٤) محطة ضخ البئر الرطب سابقة التجهيز

منشآت البئر الجاف تتكون من غرفتين منفصلتين أحدهما لاستقبال مياه الصرف والأخرى للطلمبة ونظام التحكم. الغرفة الجافة التى تتوفر لها الحماية تسمح بسهولة الاقتراب من الطلمبات للتفتيش والتحكم والصيانة.

مميزات البئر الجاف هى أن الطلمبات يمكن أن توضع أسفل منسوب الصرف الصحى. هذا يوفر ضغط سحب بدلاً من ضغط الرفع، وبما لا تتطلب الحاجة لتحضير الطلمبات. منشآت البئر الجاف موضحة فى الشكل (٥/١٥). الضغط المرتد (Back Pressure) الذى يتم استشعاره بواسطة أنبوبة فقاعات الهواء يعمل على بيان منسوب سائل الصرف وتشغيل أو إيقاف الطلمبات آلياً.

التغير فى معدلات تدفق سائل الصرف من ساعة لأخرى يجب معرفته أو تقديره وذلك لتصميم محطة الرفع أو لاختيار وتوصيف وحدة مناسبة سابقة التصنيع. حتى أن أصغر محطة رفع يجب أن يتوفر لها طلمبتين على الأقل أحدهما فى التشغيل والأخرى احتياط للصيانة أو الإصلاح. استخدام الطلمبتين يمكن تغييره آليا بحيث أحدهما لا تظل خارج الخدمة لفترة زمنية طويلة.

حجم البئر الرطب يجب أن يكون كبيرا بحيث أن تعمل الطلمبات بدون دورات تشغيل وإيقاف زمنية قصيرة جدا، وفى نفس الوقت يجب أن يكون صغيراً بما لا يسمح بمكوث الصرف الآسن لفترة طويلة. إذا كان البئر الرطب صغيراً جداً، فإن الطلمبات سوف تعمل باستمرار أو دورة التشغيل والإيقاف ستكون قصيرة جداً بما قد يحدث بها تلف. إذا كان البئر الرطب كبيراص جداً، فإن طول زمن المكث لمياه الصرف قبل بدء الضخ سيؤدى إلى تحلل لا هوائى وحالات تعفن فى محطة الرفع. المصمم يجب أن يكون لديه بيانات معدل تدفق جيدة لتعيين الحجم المناسب للبئر الرطب.



شكل (٥/١٥) محطة رفع البئر الجاف

٣- إنشاء شبكة الصرف : (Sewer Construction)

بعد اكتمال الرسومات الهندسية ومواصفات نظام الصرف، فإنه يلزم موافقة المحليات عليها قبل البدء فى التنفيذ. النوع العادى من إنشاء شبكة المواسير الذى سيتم تناوله يستخدم خنادق مكشوفة ومقاطع من المواسير المستديرة السابقة التصنيع. فى حالة نظم الصرف الضخمة أو أن حالة الإنشاء الغير عادية أحيانا تتطلب عمل أنفاق، تغليف المواسير خلال التربة، أو أن يتم الإنشاء والصب فى الموقع لنظام تجميع الصرف من الخرسانة.

لتأكيد ضمان نوعية الإنشاء وكفاءة الإنشاء فإنه يلزم الإشراف المستمر والحذر على المشروع بواسطة عناصر تفتيش مدربة. المسئولية الرئيسية لعناصر الإشراف أثناء إنشاء

شبكة الصرف هى لتأكيد تطابق خطة المشروع طبقا للمواصفات. بعض المهام المعينة لعنصر التفتيش تشمل الآتى :

١- التأكيد أن كل ماسورة ليس بها شروخ وثابتة تماما.

٢- مراجعة الوضع والتأسيس للماسورة فى الخندق المفتوح.

٣- مراجعة التوصيل الجيد للمواسير.

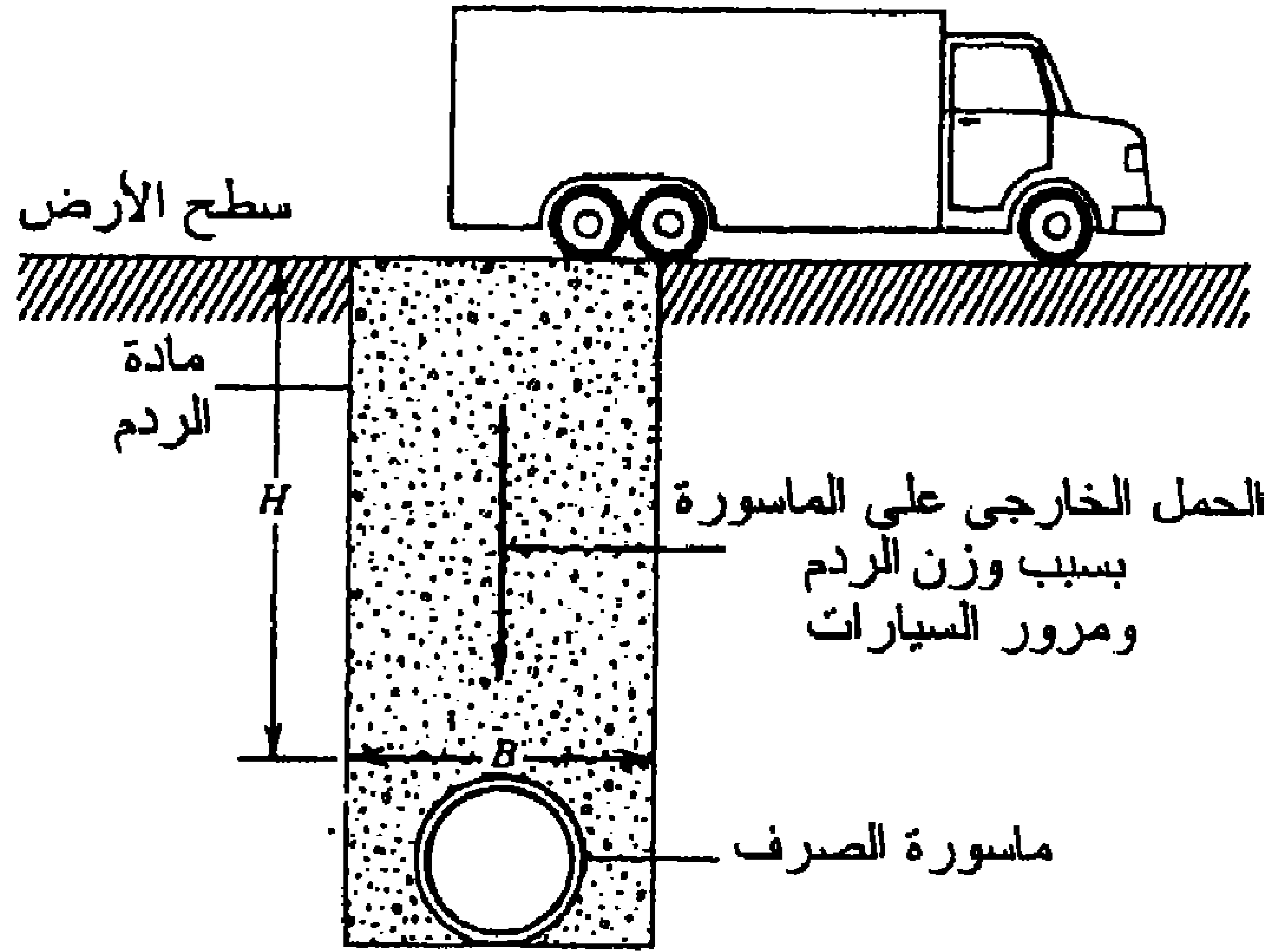
٤- مراجعة الاستقامة (اتجاه الميل) لخط المواسير.

٥- التأكيد على تغطية الماسورة (الردم) بمادة تربة نظيفة.

٦- تعيين الحاجة إلى سحب المياه من الخندق.

متطلبات الإنشاء :

خطوط المواسير يجب أن تكون قادرة على تحمل الحمل الناتج عن ردم التربة فوقها، وهذا ما يسمى بالحمل الميت (Dead Load)، وكذلك القوة الناتجة عن الحركة المرورية والتى تسمى الحمل الحى (Live Load). وهذا موضح فى الشكل (٥/١٦). عمق الردم، عرض الخندق ونوع مادة الردم هى العوامل الهامة ذات التأثير على الحمل الميت. أما العوامل ذات التأثير على قدرة التحميل للماسورة هى إجهاد الكسر للماسورة (Crushing Strength) ونوع أو درجة التأسيس للماسورة. إجهاد الكسر للماسورة يتم تعيينه طبقاً للمواصفات، ويتم تقديره بالحمل أو القوة على وحدة الطول. طريقة تعيين إجهاد الكسر تسمى اختبار التحميل بالثلاثة بروز (Three Edge Bearing Test) لأن التحميل يكون على مقطع الاختبار على طول الثلاثة بروز فقط لاستدارة الماسورة، أحدهم على السطح العلوى والاثنين على القاع. أدنى إجهاد كسر مطلوب لمختلف مواد المواسير وأحجامها متاح فى المواصفات القياسية، حيث يتم مراجعة مطابقة المواسير للمواصفات باختبارات مراقبة الجودة التى تتم فى المصنع. مثال لذلك القيم المثالية لإجهاد الكسر لمواسير الفخار المزجج موضحة فى الجدول (٥/١).



شكل (٥/١٦) خط المواسير المدفون يجب أن يكون قادراً على مقاومة الأحمال الخارجية بدون حدوث أى تلف. الحمل على الماسورة بسبب الردم يتوقف على نوع التربة، عمق التغطية (H) وعرض الخندق (B).

جدول (٥/١) نماذج لإجهاد الكسر لمواسير الفخار المزجج

القطر الاسمى		الإجهاد القياسى		الإجهاد الزائد	
مليمتر	بوصة	KN/m كيلونيوتن/المتر	Ib/ft رطل القدم	KN/m كيلونيوتن/المتر	Ib/ft رطل القدم
٢٠٠	٨	٢٠,٤	١٤٠٠	٣٢	٢٢٠٠
٢٥٠	١٠	٢٣,٢	١٦٠٠	٣٥	٢٤٠٠
٣٠٠	١٢	٢٦,٣	١٨٠٠	٣٧,٩	٢٦٠٠
٣٨٠	١٥	٢٩,٢	٢٠٠٠	٤٢,٣	٢٩٠٠
٤٦٠	١٨	٣٢,٠	٢٢٠٠	٤٨,١	٣٣٠٠

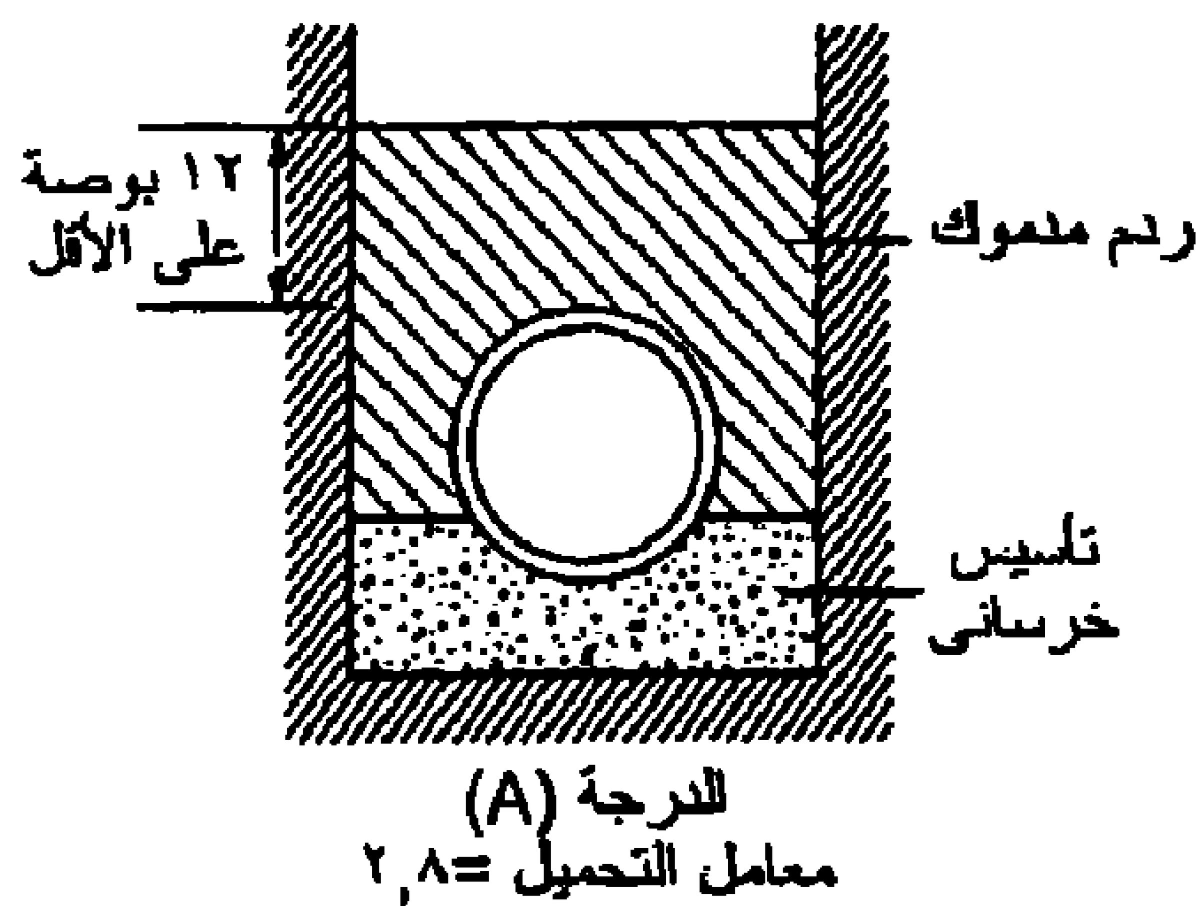
التأسيس هو الطريقة التى يتم بها وضع الماسورة فى قاع الخندق. التأسيس الجيد يزيد قوة التحميل للماسورة أعلى من قيمة إجهاد الكسر. بتوزيع الحمل على محيط الماسورة. نسبة قوة التحمل الواقعية الحقلية بالنسبة لإجهاد الكسر تسمى معامل التحميل (Load Factor).

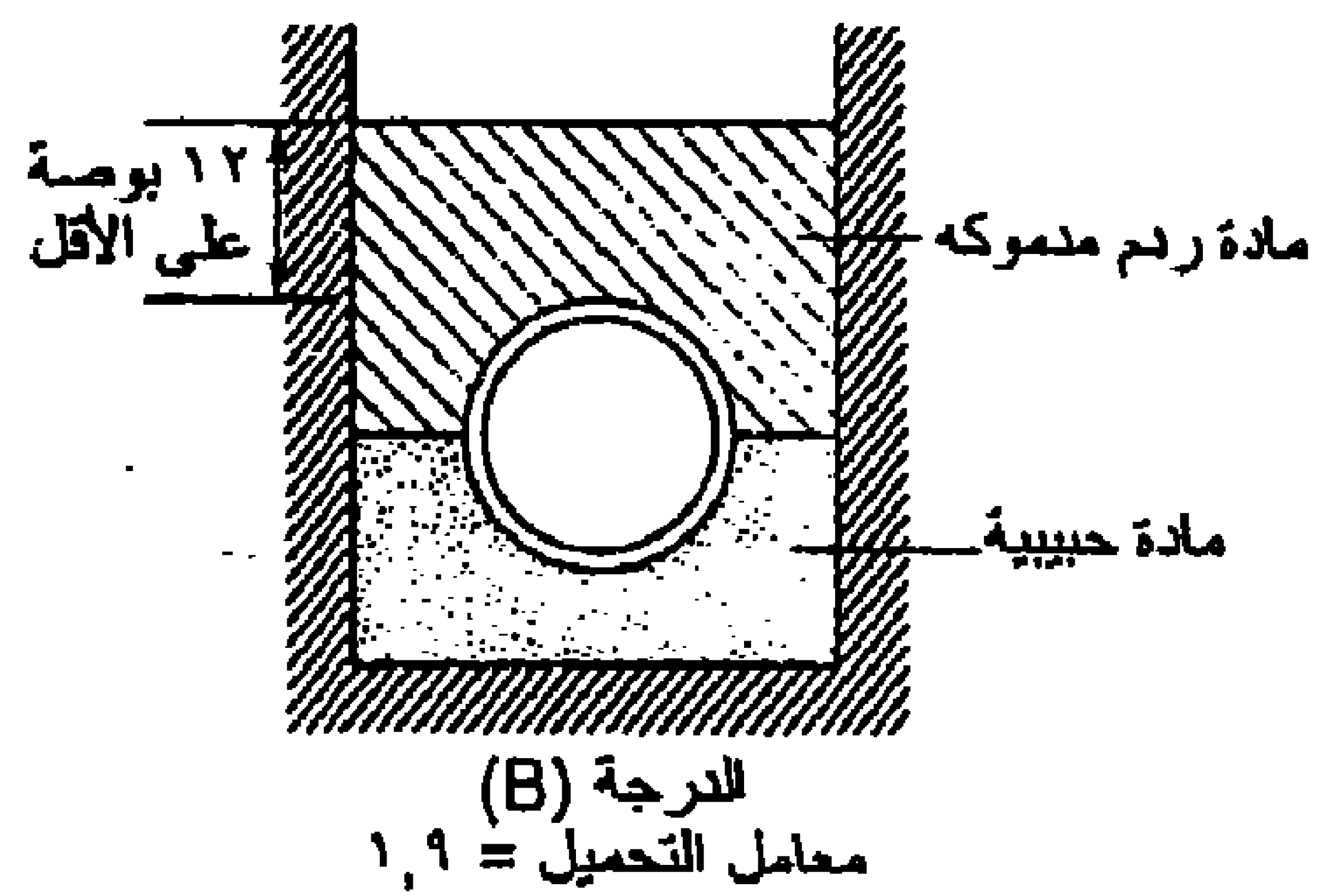
معامل التحميل = إجهاد التحميل الحقلى ÷ إجهاد الكسر

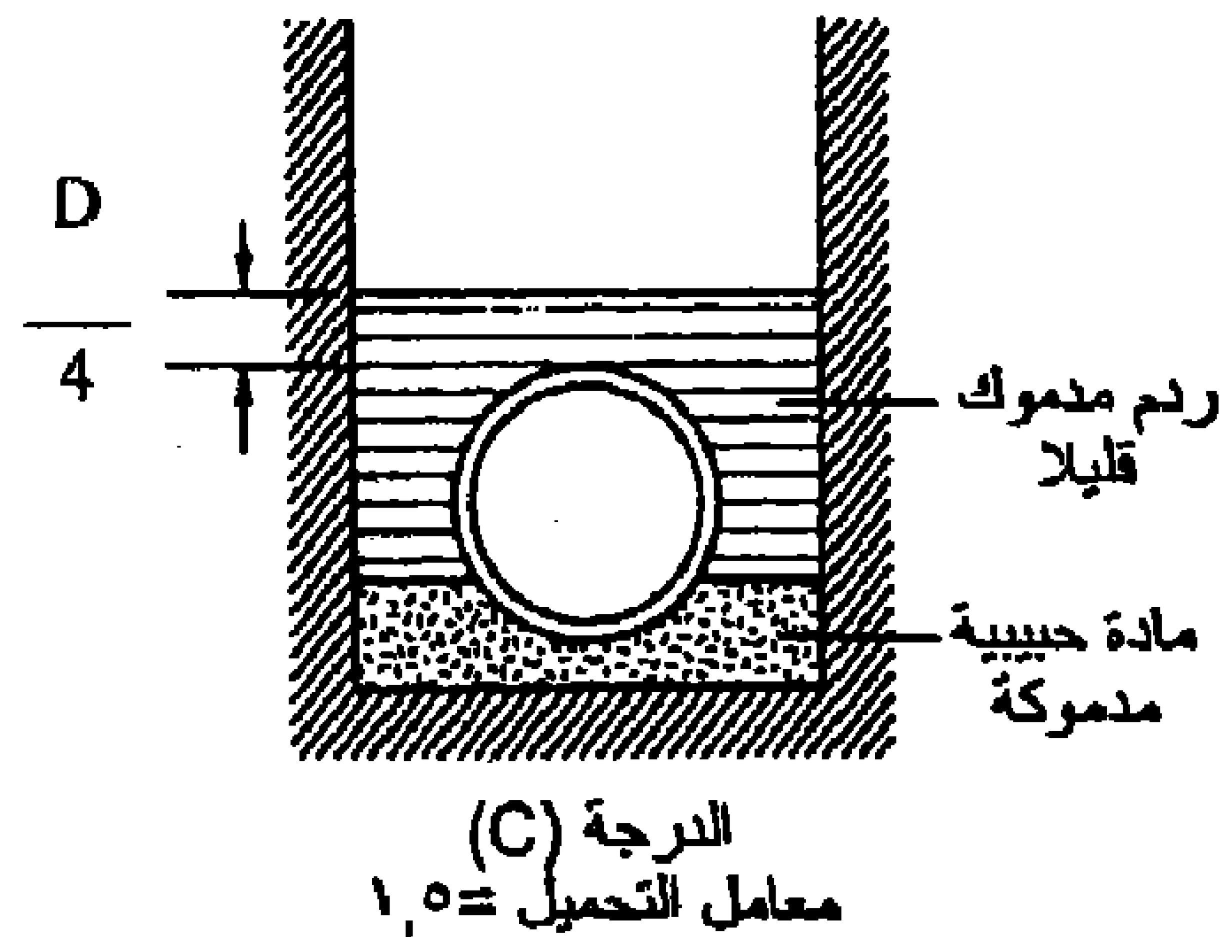
طريقة أخرى للتعبير عن ذلك.

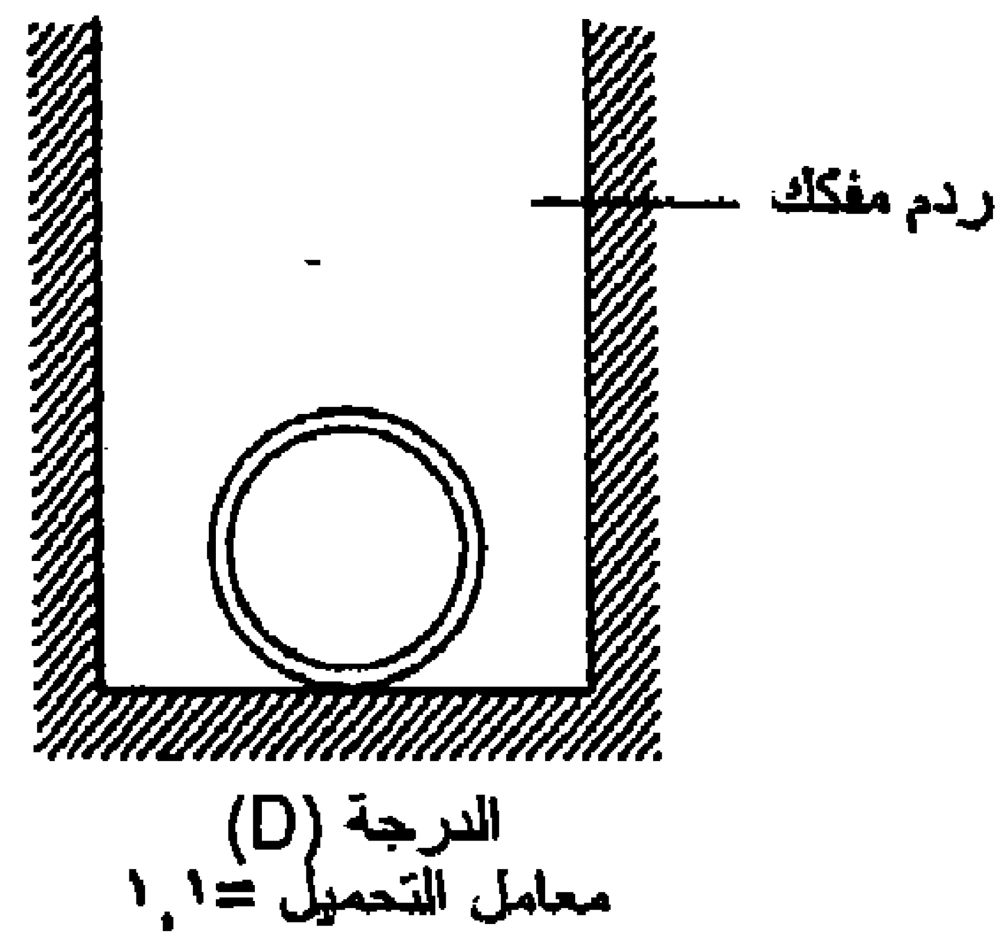
إجهاد التحميل الحقلى = معامل التحميل × إجهاد الكسر

الشكل (٥/١٧) يوضح أربعة أنواع من التأسيس. النوع (D) هو الأضعف والنوع الأدنى مطلباً ولا يوصى به فى إنشاء المواسير فى معظم الحالات. قاع الخندق يتم تركه مستوياً، وأسطوانة الماسورة لا يتم تحميلها ذلك لوجود البروز فى النهايات، الردم يتم وضع الردم من التربة المفككة فوق الماسورة بدون الدمك.









شكل (٥/١٧) مختلف أنواع حالات التأسيس التى تؤثر على قوة التحميل الآمنة للماسورة

الدرجة (C) تسمى التأسيس العادى، حيث توضع مادة حبيبية مدمجة تحت الماسورة وتمتد محاذية لاستدارة الماسورة. هذا يوفر تحمل جيد ومعامل تحميل ١,٥. بمعنى أن قوة التحميل الحقلية هى ١,٥ ضعف إجهاد الكسر.

الدرجة (B) أو تأسيس الدرجة الأولى، يكون له مادة حبيبية مدمجة ممتدة نصف المسافة لأعلى استدارة الماسورة، والردم يتم دمكه بحرص فوق قمة الماسورة، معامل

التحميل هو ١,٩. فى تأسيس الدرجة (A)، فإن استدارة الماسورة يتم وضعها فى فرشة خرسانية مع الدمك الحذر للردم، بما يوفر معامل تحميل ٢,٨.

بالإضافة إلى معامل التحميل الذى يتم توفيره بتأسيس الماسورة، فإنه يتم توفير معامل أمان للحسابات للوصول إلى قوة تحميل آمنة لخط المواسير كالآتى :

قوة التحميل الآمنة = قوة التحميل الحقلى ÷ معامل الأمان

مع الاستبدال فى المعادلة السابقة وهى :

معامل التحميل = قوة التحميل الحقلى ÷ إجهاد الكسر

عندئذ فإن قوة التحميل الآمنة =

= معامل التحميل × إجهاد الكسر ÷ معامل الأمان

يستخدم عادة معامل أمان ١,٥ بالنسبة للمواسير من الفخار المزجج أو المواسير الخرسانية الغير مسلحة للتعويض عن احتمال استخدام مواد ذات نوعية متدنية أو عند وجود أخطاء فى الإنشاء.

معادلة مارستون : (Marston's Formula)

لتعيين حالة التأسيس الجيدة لخط المواسير، فإنه يجب أولا تعيين إجمالى الحمل الحى والحمل الميت. درجة التأسيس يتم اختيارها بما يحقق تساوى قوة التحميل الآمنة تساوى أو تزيد عن إجمالى الحمل المحسوب على الماسورة.

بالنسبة للمواسير فى الخنادق الضحلة، فإن أحمال الحركة المرورية قد تكون جزءاً من الحمل الكلى، توجد جداول للمساعدة فى التصميم وذلك بتقدير تلك الأحمال الحية. بالنسبة للمواسير فى الخنادق العميقة نسبياً، مثل مواسير الصرف الصحى فإن الحمل الحى للحركة المرورية يكون غير هام مقارنة للحمل الميت بسبب الردم. لغرض التوضيح سوف يتم فقط اعتبار الحمل الميت على الماسورة.

المعادلة المستخدمة عادة لتقدير الحمل الميت الناتج عن الردم تعرف بمعادلة مارستون ويعبر عنها بالآتى :

$$W = C_{\omega} B^2$$

حيث :

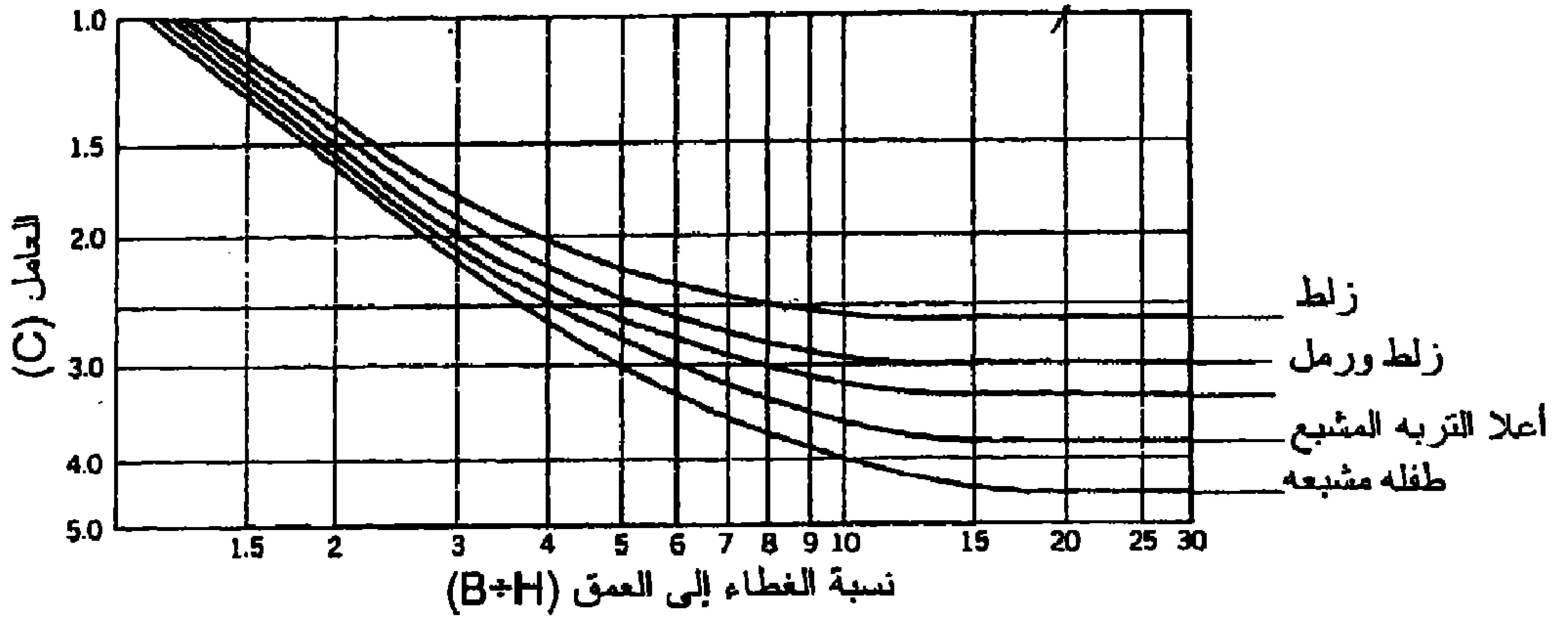
W = الحمل الميت بسبب الردم، كيلو نيوتن، المتر (رطل/القدم)

C = معامل

ω = وحدة الوزن لتربة الردم كيلو نيوتن/ المتر المكعب (رطل/ القدم المكعب)

B = عرض الخندق عند أعلى الماسورة، بالمتر، (القدم)

قيمة المعامل (C) تتوقف على عمق طبقة التغطية، عرض الخندق، ونوع مادة الردم. المخطط الذى يوضح قيمة (C) موضح فى الشكل(٥/١٨).



شكل (٥/١٨) قيم المعامل (C) فى معادلة مارستون

القيم التقليدية لوحدة الوزن، لقليل من أنواع التربة موضح فى الجدول (٥/٢) الآتى :

جدول (٥/٢) القيم الوحدة الوزن للتربة

نوع التربة	وحـــــدة الوزن	
	كيلو نيوتن/ المتر المكعب	رطل/ القدم المكعب
الرمل والزلط	١٧,٢	١١٠
الطفل	١٨,٨	١٢٠
الطفل المشبع	٢٠,٤	١٣٠

المثال الآتى المبسط يوضح استخدام معادلة مارستون وتحليل حالات تأسيس الماسورة.

مثال :

ماسورة بقطر ٣٠٠ مليمتر وضعت فى خندق مستطيل بعمق ٣ متر واتـساع ٠,٦ متر. الخندق تم ردمه بالطفلة التى لها وحدة وزن ١٨,٨ كيلو نيوتن/ المتـر المكعـب. احسب الحمل الميت بسبب الردم الذى يجب أن تتحمله الماسورة.

الحل :

الغطاء H يساوى إجمالى عمق الخندق ناقص قطر الماسورة أو

H = ٣ متر – ٠,٣ متر = ٢,٧ متر

نسبة الغطاء إلى العرض H : B = ٢,٧ : ٠,٦ = ٤,٥

من الشكل (٥/١٩)، اقرأ المعامل (C) = ٢,٦ للتربة الطفلية.

والآن باستخدام معادلة مارستون يكون لدينا

$W = C_{\omega}B^2$ = ٢,٦ × ١٨,٨ × (٠,٦)^{٢}

= ١٨ كيلو نيوتن/ المتر

مثال :

إذا كانت الماسورة فى المثال السابق هى من الفخار المزجج بالإجهاد القياسى، ما هى درجة التأسيس التى يتم توصيفها للإنشاء، باستخدام معامل أمان ١,٥؟

الحل :

من الجدول (٥/١)، إجهاد الكسر القياسى لماسورة الفخار ٣٠٠ مليمتر هو ٢٦,٣ كيلو نيوتن/ المتر. من الحل فى المثال السابق، قوة التحميل الآمنة لخط المواسير يجب أن تساوى لـ (أو أكبر من) الحمل الميت لـ ١٨ كيلو نيوتن/المتر. باستخدام المعادلة (٣).

إجهاد التحميل الآمن = معامل التحميل × جهاد الكسر ÷ معامل الأمان

١٨ كيلو نيوتن/ المتر = معامل التحميل × ٢٦,٣ كيلو نيوتن/المتر ÷ ١,٥

. . معامل التحميل = ١٨ × ١,٥ ÷ ٢٦,٣ = ١

طبقاً لهذه الحسابات، التأسيس بالدرجة (D)، مع معامل تحميل ١,١ سيكون مناسباً. ولكن استخدام الدرجة (D) للتأسيس لا يعتبر عمل إنشائى جيد، ولذلك يفضل توصيف الدرجة (C) للتأسيس بدلاً منها.

مثال :

ماسورة من الفخار المزجج بقطر ٨ بوصات مطلوب وضعها فى خندق بعرض ٢ قدم مع طبقة تغطية ١١ قدم. مادة الردم من الطفلة المشبعة. عين ظروف التأسيس المطلوبة للقوة القياسية وكذلك لماسورة ذات قوة زائدة باستخدام معامل أمان ١,٥.

الحل :

أولاً، يتم حساب النسبة ما بين الغطاء والعمق وتعيين قيمة (C).

H : B = ١١ : ٢ = ٥,٥

من الشكل (٥/١٩) (C) = ٣,٢، من الجدول (C) يتم قراءة قيمة ω = ١٣٠رطل/ القدم المكعب.

الآن باستخدام معادلة مارستون فإننا نحصل على

W = ٣,٢ × ١٣٠ × (٢,٠)٢

والحمل الميت W = ١٧٠٠ رطل / القدم تقريباً.

قوة التحميل الآمنة يجب أن تساوى أو تزيد عن هذا الحمل.

بالنسبة للقوة القياسية لماسورة الفخار ٨ بوصات، إجهاد الكسر يساوى ١٤٠٠ رطل/القدم. باستخدام المعادلة (٣) نحصل على

١٧٠٠ = الحمل الميت × ١٤٠٠ ÷ ١,٥

. . الحمل الميت = ١,٥ × ١٧٠٠ ÷ ١٤٠٠ = ١,٨

الشكل (٥/١٨) يوضح أن التأسيس بالدرجة (B)، والذى له معامل تحميل ١,٩، يكون مطلوباً للقوة القياسية للماسورة من الفخار المزجج فى هذه المسألة، الدرجة (C) ليس لها معامل تحميل مرتفع كافي. بالنسبة للقوة الزائدة لماسورة الفخار المزجج إجهاد الكسر هو ٢٢٠٠ رطل / القدم، وإعادة حساب معامل التحميل المطلوب ينتج عنه.

معامل التحميل = ١,٥ × ١٧٠٠ ÷ ٢٢٠٠ = ١,٢

لذلك، فإنه تستخدم ماسورة ذات القوة الزائدة وليست ذات القوة القياسية، التأسيس بالدرجة (C) مع معامل تحميل ١,٥ سيكون كافيا.

التكاليف الإضافية للماسورة الأقوى يمكن قبولها نظراً لما تحققه من وفر فى الوقت، المواد، والمال الذى سوف يتم إنفاقه لتأسيس الدرجة (B).

التخطيط الحقلى والإنشاء : (Field lay out and Installation)

الاعتبار الأساسى فى إنشاء خطوط مواسير الصرف هو الدقة فى التخطيط الحقلى للخط والانحدار لخط المواسير، كما توضحه فى رسومات الإسقاط الراسى. الخط أو

الاستقامة الأفقية، تبين مكان واتجاه خط المواسير خلال المسار الصحيح. ميل الماسورة يجب كذلك تحديده بدقة لتوفير الطاقة الهيدروليكية المطلوبة.

في الاستطلاع الحقلى للإنشاء، يتم تحديد مكان خندق المواسير ووضعه كخط ملتوى، والذى يسير موازياً لمحور خط مواسير الصرف. يتم تعليم هذا الخط بواسطة قوائم خشبية، مثبتة فى التربة على فواصل منتظمة، عادة بطول حوالى ١٥ متر (٥٠ قدم). خط التعليم (Offset Line) يكون بعيداً عن محور الماسورة بما يحافظ على وجوده أثناء الإنشاء، وأن يكون قريباً بما يكفى من سرعة انتقال القياسات إلى الخندق المحفور بواسطة القائم بالإنشاء.

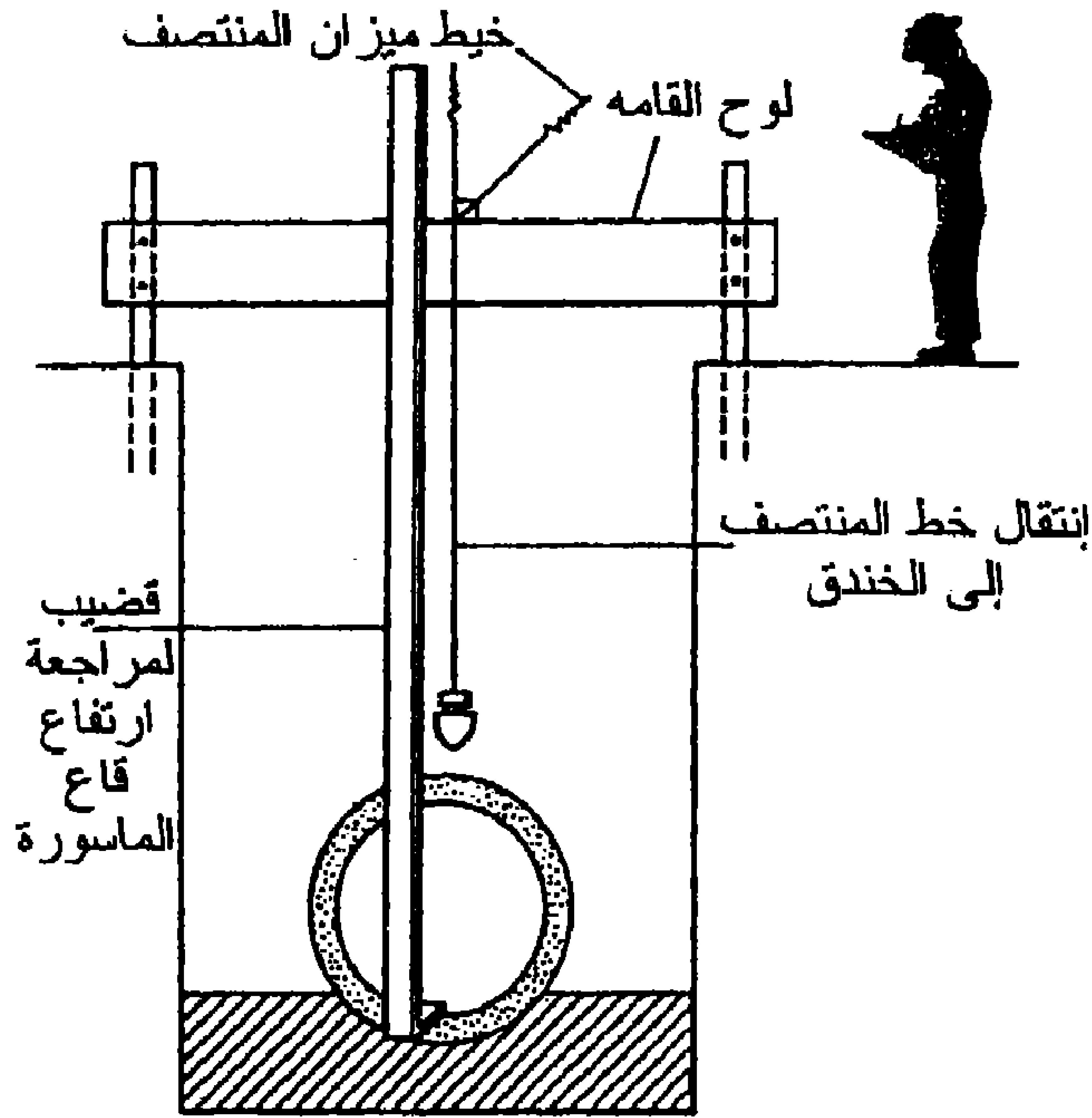
الأعمدة الخشبية يمكن وضعها بحيث تكون قمتها ذات ارتفاع معين فوق قاع الخندق المطلوب. يمكن عندئذ استخدامها من آن إلى آخر لمراجعة عمق الخندق أثناء الحفر.

تستخدم طريقتين لوضع المواسير فى الخندق المفتوح بطريقة صحيحة، وهما طريقة لوح القامة (Batter Board) والليزر. طريقة لوح القامة هى الأقدم إلا أن استخدام طريقة أجهزة الليزر أكثر دقة وأسرع. ولكن طريقة لوح القامة مازال يستخدم فى إنشاء مواسير الصرف.

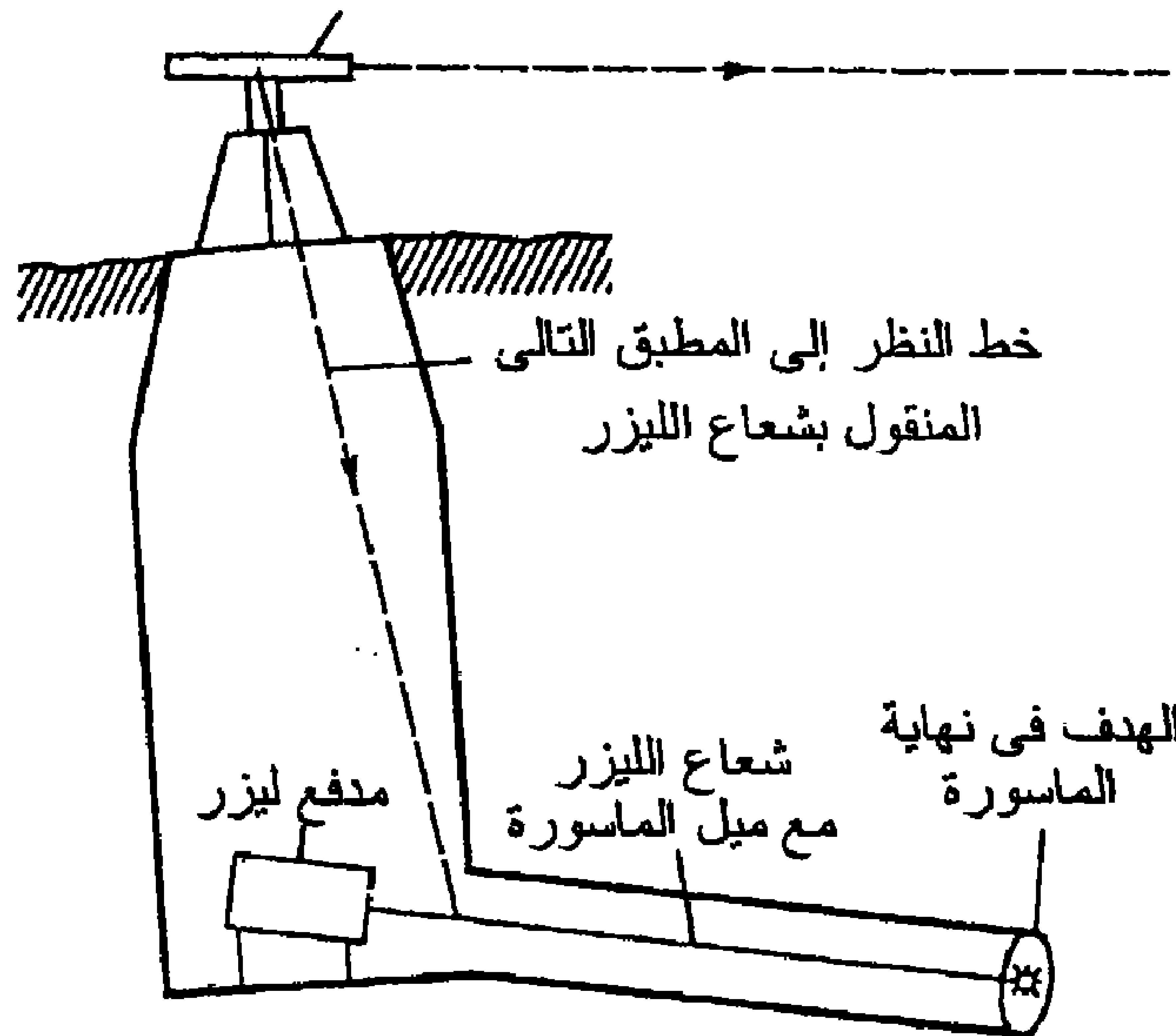
ألواح القامة : (Batter Boards)

بعد حفر الخندق، يتم وضع ألواح القامة فوق الخندق بفواصل منتظمة، كما فى الشكل (٥/١٩). عادة يتم وضع قمة اللوح على ارتفاع متساوى فوق الارتفاع المطلوب لقاع الماسورة السفلى. يتم تعليم خط المنتصف لمسار خط الصرف على اللوح الخشبى ثم امتداده كخط بصرى بواسطة التيودوليت، يتم امتداد خيط من لوح إلى لوح على طول هذا الخط.

يتم انتقال خط المنتصف إلى أسفل فى الخندق بواسطة خيط الميزان المعلق ارتفاع القاع يتم تحديده ومراجعته باستخدام قامة رأسية مبين عليها علامات ذات مسافات متساوية. النهاية السفلية للقامة توضع على السطح السفلى لقاع الماسورة، ويتم مراجعة خيط الميزان لمعرفة ما إذا كان يتطابق مع علامة الارتفاع المطلوب على القامة. وفى حالة عدم التطابق مع العلامة الصحيحة، يتم عمل الضبط لارتفاع قاع الماسورة بواسطة العامل فى الخندق.



شكل (٥/١٩) لوح القامة فى إنشاء خط الصرف



شكل (٥/٢٠) فى إنشاءات مواسير الصرف الحديث تستخدم

إشعاعات الليزر لتعيين ميل الماسورة

جهاز الليزر : (Lesers)

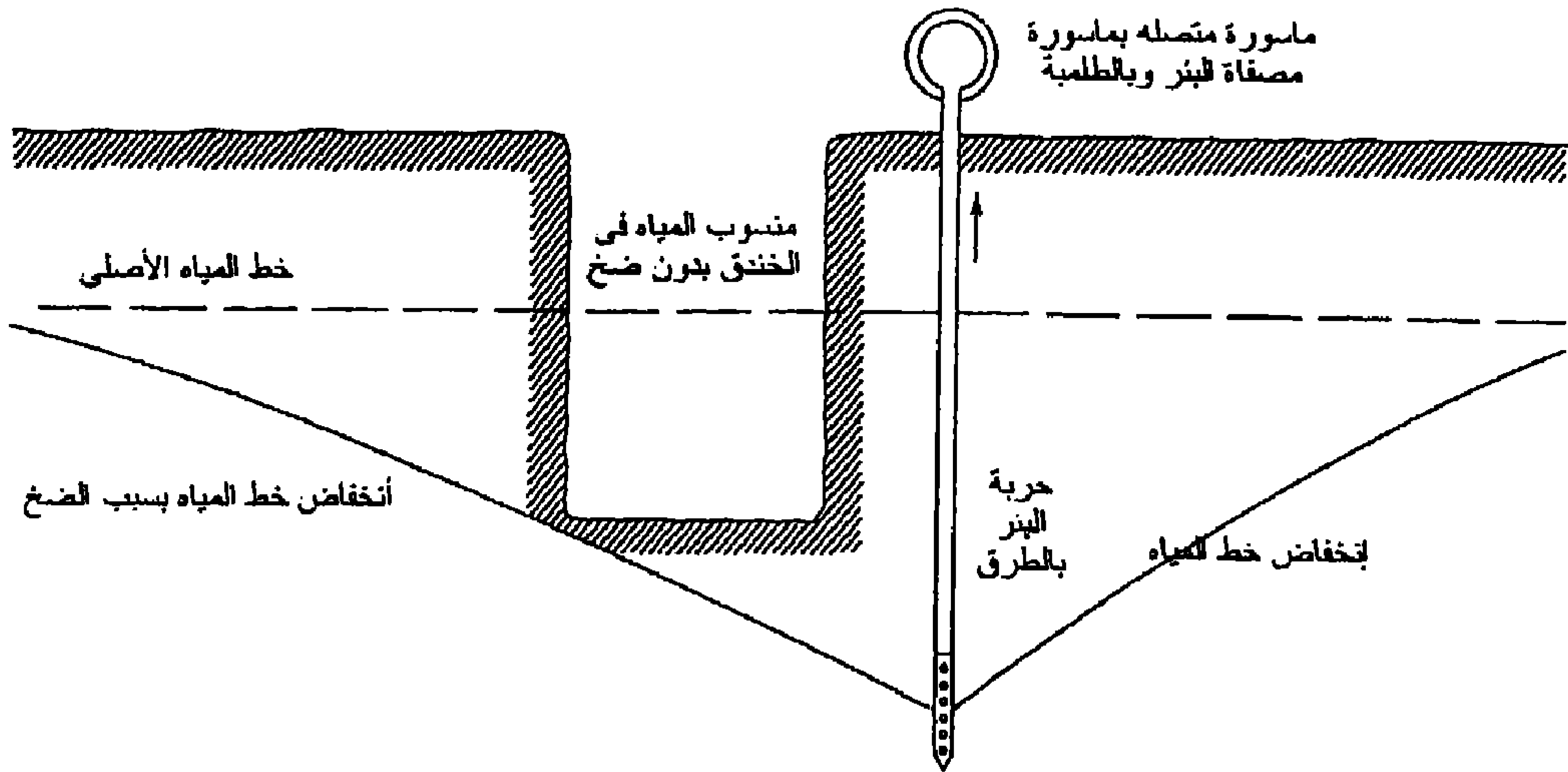
الليزر هو جهاز يمكنه أن يبعث شعاع ضوئى ضيق وكثيف لمسافة طويلة. هذا الشعاع الضوئى فى شكل القلم يمكن توجيهه خلال الماسورة ويمكن أن يرى على هدف موضوع فى النهاية الأخرى من الماسورة، كما فى الشكل (٥/٢٠). يتم وضع جهاز الليزر فى غرفة التفتيش، وميل الشعاع الضوئى يتم ضبطه بدقة ليتطابق إلى أسفل مع جهاز الليزر. الليزر يمكن أن يحقق دقة فى ميل الماسورة بنسبة ٠,٠١% على مسافات حتى ٣٠٠ متر (١٠٠٠ قدم). أى أن الارتفاعات يمكن تحديدها بدقة خلال ٣٠ مليمتر فى طول الماسورة ١٠٠٠ متر (٠,١ قدم لكل طول ١٠٠٠ قدم من خط المواسير).

الحفر : (Excavation)

أكثر أنواع المعدات استخداماً فى حفر خندق مواسير الصرف هو الحفار الخلفى (Backhoe). رغم أن هذا يمكن أن يتغير طبقاً لعمق ونوع مادة التربة (تربة عادية أو صخر) التى يتم حفرها. يجب المحافظة على أن يكون عرض الخندق ضيق كلما أمكن ذلك بينما يسمح بمساحة كافية للعامل. الخندق الضيق لا يقلل من تكاليف الحفر فقط ولكنه يقلل من حمل الردم على الماسورة. عموماً يلزم ما لا يقل عن ٣٠٠ مليمتر (واحد قدم) على كل جانب من الماسورة.

لتحقيق الأمان، فإن اجناب الخندق بعمق أكبر من ١,٥ متر (٥ قدم) يجب تحميلها بألواح ساندة خشبية أو معدنية ملتصقة بسطح التربة ويتم تثبيتها بعروق خشبية ممتدة فوق الخندق من جانب إلى آخر وذلك لمنع الانهيار للتربة وحماية العمال.

فى حالة وجود مياه جوفية فى الخندق، يتم سحب المياه باستخدام طلمبة أو باستخدام حربة (مصفاة) البئر.تأثير مصفاة البئر فى خفض منسوب المياه الجوفية قريباً من الخندق موضح فى الشكل (٥/٢١).



شكل (٥/٢١) سلسلة من حراب البئر متصلة بالماسورة الرئيسية والطلمبة وذلك لسحب المياه من الخندق المحتوى على مياه جوفية.

تداول ووضع الماسورة فى الخندق والردم :

التأسيس الغير صحيح يمكن أن يؤثر بالسلب على قوة تحمل الماسورة، مسبباً انحناء فى الماسورة، أو شروخ وما يترتب عليه من زيادة تسرب المياه الأرضية إلى داخل الماسورة. من المهم فى التأسيس أن يكون كل طول أسطوانة الماسورة محملاً بانتظام على التربة أو على الطبقة الزلطية أسفل الماسورة. يتم تداول المساورة بحرص شديد ووضعها بدون أدنى اضطراب للمادة الحاملة على قاع الخندق. يجب الحرص فى توصيل المواسير بما يحقق عدم حدوث تسربات من خلال الوصلات.

يتم الردم للخندق بعد وضع الماسورة مباشرة عند المستوى المطلوب. مواد الردم يجب عدم احتوائها على كتل حجرية أو زلطية كبيرة، أو جذوع الأشجار أو أى مخلفات زراعية. يتم وضع الردم ودمكه فى طبقات متجانسة بعمق حوالى ١٥سم (٦ بوصة) إلى ارتفاع حوالى ٣٠ سم (١قدم) فوق قمة الماسورة، بعد ذلك يمكن استمرار الردم العادى بطريقة أسرع.

٤ – التسرب إلى الداخل :

عند وجود خط مواسير صرف صحى حيث التدفق بالجاذبية أسفل خط المياه الجوفية، فإن المياه الجوفيه سوف تتسرب إلى داخل المواسير خلال الوصلات الضعيفة بين المواسير، وحيث توجد التشققات فى المواسير، أو إنشاءات غرف التفتيش الضعيفة

المسببة للتسرب. التحكم فى التسرب هذا يعتمد أساساً على نوعية الإنشاء لخط المواسير. حتى فى حالة نظام مواسير الصرف المنشأة جيداً، فإنه سوف يكون هناك بعض التسرب، ولذلك فإن بناء إنشاء خط مواسير بالتدفق أسفل خط المياه الجوفية ليكون تام الإحكام ضد تسرب المياه لا يعتبر مجدياً أو اقتصادياً. عموماً يسمح بحوالى ٤٥ لتر فى اليوم لكل مليمتر من قطر الماسورة لكل كيلو متر من خط المواسير (٤٥لتر/اليوم/ المليمتر/ الكيلومتر) فى المواصفات بالنسبة لمشروع إنشاء خطوط مواسير الصرف. وهذا يعادل تقريباً ٥٠٠ جالون/ اليوم/ البوصة من قطر الماسورة/الميل من طول خط المواسير.

مثال :

ما هو المعدل الكلى المسموح به للتسرب فى خط مواسير بطول ١,٥ كيلو متر، قطر ٢٠٠ مليمتر، إذا كان المقبول هو ٤٥ لتر/ اليوم/ المليمتر/الكيلومتر؟ وكيف يقارن إلى أدنى طاقة للماسورة.

الحل :

معدل التسرب المسموح به يتم حسابه كالآتى :

٤٥ لتر/ اليوم/ مليمتر / كيلو متر × ٢٠٠ مليمتر × ١,٥ كيلو متر = ١٣٥٠٠ لتر فى اليوم.

أدنى طاقة لماسورة بقطر ٢٠٠ مليمتر هو التصرف الذى يكون له سرعة التنظيف الذاتى ٠,٦ متر/ الثانية. باستخدام مخططماننج فى الشكل (٢/٢١) يتم قراءة التصرف لـ ٠,٠١٩ متر مكعب فى الثانية أو ١٩ لتر فى الثانية بالتحويل إلى لتر/اليوم يعطى :

١٩لتر/ث × ٣٦٠٠ ث/الساعة × ٢٤ ساعة/اليوم = ١٦٠٠٠٠٠ لتر/اليوم

نسبة التسرب إلى طاقة الماسورة عندئذ يكون

١٣٥٠٠ ÷ ١٦٠٠٠٠٠ = ٠,٠٠٨ أو ٠,٨ %

هذه الكمية تعتبر مهملة مقارنة بطاقة الماسورة.

المياه السطحية التي تدخل خط المواسير خلال غطاء غرفة التفتيش الغير محكم القفل أو الوصلات الغير محكمة. من المهم منع حدوث تسرب أو تدفق داخل خط الصرف الصحى ذلك لتجنب الطفح أثناء فترة سقوط الأمطار، هذا بالإضافة إلى أن محطات معالجة الصرف الصحى غير مصممة لتداول هذا الحجم الزائد من المياه بما يسبب تحميل هيدروليكى زائد وإتلاف لعملية المعالجة.

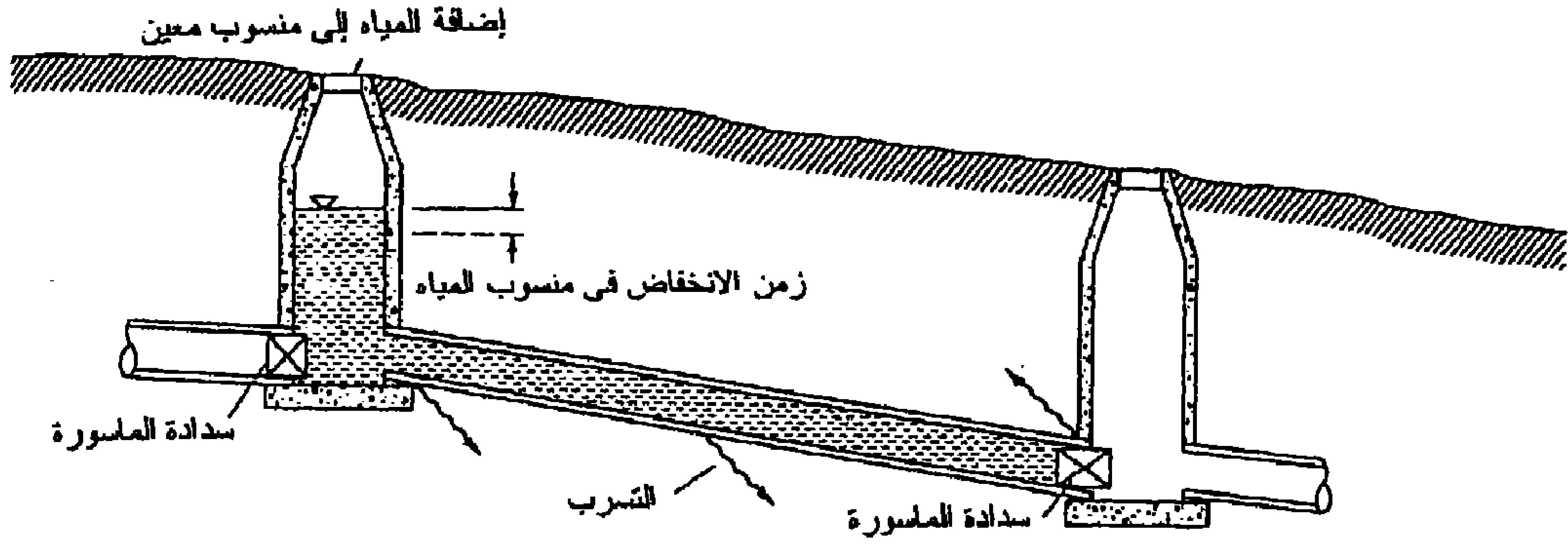
يجب اختبار خطوط المواسير المنشأة حديثا وذلك للتأكد من مطابقتها لمواصفات التسرب وذلك قبل وضعها في الخدمة. كذلك فإن خطوط المواسير القديمة يجب كذلك اختبارها وذلك لتعيين مدى التسرب.

توجد طرق كثيرة لاختبارات التسرب والتدفق داخل المواسير (Infilteration and Inflow) وهذه تشمل : القياس المباشر، اختبار الرشح إلى خارج الماسورة (Exfilteration)، اختبار الدخان (Smoke Testing)، اختبار الضغط المنخفض للهواء.

القياس المباشر للتسرب داخل المواسير (Infilteration) يتم لخط المواسير الجديد وعند وجوده أسفل خط المياه الجوفية عند وقت الاختبار وذلك قبل عمل وصلات الخدمة. يمكن وضع هدار على شكل حرف V عند نهاية طول معلوم لخط المواسير لقياس التدفق، حيث أن أى تدفقات خلال الخط يجب أن تكون نتيجة تسرب المياه الجوفية إلى داخل الخط.

كذلك يمكن عمل القياس المباشر كجزء من العمليات المساحية للخط القديم. ولكن في حالة شبكات الصرف الخدمة فإن قياسات التدفق يجب أن تتم عند حوالى الساعة الثالثة صباحا، حيث يتوقع قليل من تدفقات مياه الصرف أو قد لا يكون هناك تدفقات في هذا التوقيت.

عند اختبار خط صرف صحي جديد بالنسبة لاحكامه ضد تسرب الماء وعند وجوده فوق خط المياه الجوفية، كما هو الحال غالبا. اختبار التسرب للمياه إلى داخل الماسورة يتم في وضع القياس المباشر. وهذا عكس القياس للتدفق داخل الماسورة، حيث يقيس التدفق الخارج من خط المواسير بدلا من التدفق الداخل إليه. بعد عمل الانسدادات للمواسير كما هو موضح في الشكل (٥/٢٢)، يتم ملء قطاع المواسير الجارى اختباره بالماء. يتم ترك هذا القطاع مملوءا بالماء لساعات قليلة بما يمكن من إزالة الهواء المحتجز وأن تصبح مادة المواسير مشبعة بالماء. في حالة خروج المياه وتسربها من خط الصرف، فإن منسوب المياه في غرفة التفتيش يتم ملاحظة أنه يهبط. بقياس كمية الهبوط في سطح الماء خلال فترة زمنية معلومة، فإن معدل تسرب الماء خارج الماسورة يمكن قياسه. من الواضح أنه في حالة تسرب المياه خارج الماسورة، فإن ذلك دليل على توقع مشاكل في حالة سقوط الأمطار أو ارتفاع منسوب المياه الجوفية.



شكل (٥/٢٢) اختبار التسرب يستخدم لمعرفة مدى أحكام

خط المواسير الجديد ضد تسرب المياه

مثال :

يتم عمل اختبار الرشح خارج خط مواسير بطول ٤٠٠ قدم، بقطر ١٢ بوصة وذلك لقطاع المواسير بين المطبقين. منسوب المياه فى مطبق (غرفة تفتيش) بقطر ٤ قدم لوحظ أنه هبط ٢ بوصة خلال ساعة واحدة. احسب معدل الرشح خارج المواسير بالجالون فى اليوم لكل بوصة من القطر لخط مواسير بطول واحد ميل.

الحل :

حجم المياه التى تسربت يساوى حاصل ضرب مساحة مقطع المطبق فى الانخفاض فى منسوب المياه. يتم حساب ذلك كالآتى :

المساحة = $\frac{\pi D^2}{4} = \frac{\pi \times 4^2}{4}$ = ١٢,٦ قدم مربع

الانخفاض = ٢ بوصة × ١ قدم/ ١٢ بوصة = ٠,١٦٧ قدم

الحجم = ١٢,٦ قدم مربع × ٠,١٦٧ قدم = ٢,١ قدم مكعب

بتحويل الحجم إلى جالونات ينتج :

الحجم = ٢,١ قدم مكعب × ٧,٦ جالون/قدم مكعب

= ١٦ جالون

طول خط المواسير = ٤٠٠ قدم × ١ ميل × ٥٢٨٠ قدم

= ٠,٠٧٦ ميل

حيث أن الفترة الزمنية للهبوط كانت ساعة واحدة.

معدل التسرب = ١٦ جالون/ الساعة × ٢٤ ساعة/ اليوم

= ٤٣٨ جالون/ اليوم.

و

التسرب = ٣٤٨ جالون/ اليوم ÷ ١٢ بوصة + ٠,٠٧٦ ميل

= ٤٢٠ جالون/اليوم/ البوصة/الميل

يمكن كذلك تقدير إحكام نظام شبكة الصرف باستخدام اختبار طريقة الضغط المنخفضة للهواء، الضغط المستخدم هو حوالى ٤ أرطال على البوصة المربعة (٢٨ كيلوبار). المواصفات للفقد فى الهواء المسموح به مقيما بالهبوط فى الضغط، تستخدم بدلا من معدل الرشح للمياه خارج المواسير. فى اختبار ضغط الهواء، يتم إحكام القفل بواسطة كرات خاصة المانعة لتسرب الهواء أو أى تجهيزات أخرى والتى تسمح بدخول الهواء المضغوط فى قطاع المواسير بين المطبقين. يتم تعيين الزمن اللازم لحدوث انخفاض فى الضغط قيمته واحد رطل/ البوصة المربعة (٧ كيلو بار). يتم مقارنة هذا الوقت بالوقت الموصف المسموح به، والذى هو بدلالة طول وقطر الماسورة. إذا كان الفقد فى الضغط أقل من ذلك فى الوقت الموصف، فإن قطاع المواسير يلزم إصلاحه حيث أثبت الاختبار أنه غير مطابق.

يمكن استخدام اختبار الدخان بكفاءة لتعيين أماكن التسرب فى المواسير أو المصادر الغير قانونية للتدفقات الداخلة فى الشبكة. فى اختبار الدخان، يتم عزل قطاع المواسير بين المطبقين (ولكن لا يتم الانسداد الكامل للتدفق)، ويتم ضغط الدخان من أسطوانة دخان غير سام بواسطة ضاغط. الدخان يظهر فوق سطح الأرض حيثما يوجد ثقب أو شرخ فى الماسورة. كذلك سوف يظهر مرتفعاً من سقف الصرف المنزلى حيث توجد وصلة غير قانونية فى شبكة الصرف. لتجنب مشاكل الإنشاء والتشغيل المرتبطة بارتفاع منسوب المياه الجوفية فإنه يتم أحياناً إنشاء خطوط الصرف بالضغط أو بالتفريغ.

٥- صيانة خطوط مواسير الصرف الصحى : (Sewer Rehabilitation)

نظم الصرف هى جزء من البنية الأساسية للمجتمعات الحضرية، وهى من الأشغال العامة والوسائل التى تمكن المجتمع من الأداء الكفؤ ولكن نظم الصرف الصحى ليست مثل باقى البنية الأساسية الأخرى مثل البنية الأساسية للنقل كالطرق والكبارى والتى ترى

بالعين حيث أن نظم الصرف غالباً لا يتم الالتفات إليها بمجرد وضعها فى الأرض. المثل القديم يقول البعيد عن العين بعيد عن العقل يكاد ينطبق فى هذا الحالة.

عادة يكون الاهتمام لصيانة نظم جمع مياه الصرف ضعيفاً حيث يخصص لهذا الغرض قيمة متواضعة من الاستثمارات. وفى مثل هذه الحالات يحدث تسرب وحمل أحجام ضخمة من المياه الجوفية المتسربة، كما يحدث انسداد وأحمال من المياه تزيد عن طاقة خطوط الصرف ونتيجة لذلك وأحياناً يحدث تلف وانهيار. تكاليف الحفر واستبدال أجزاء من خطوط مواسير تجميع الصرف ذات الأداء الضعيف مكلف جداً. لذلك فإنه يكون من المناسب اقتصاديا استخدام أحد الطرق المتاحة لإصلاح وصيانة الشبكة داخليا بدون الحفر. لذلك فإنه يكون من الضرورى وجود برنامج صيانة مصمم لمنع حدوث التلف بدون اللجوء إلى أعمال الحفر.

إصلاح خط المواسير : (Pipe Line Repair)

توجد طرق كثيرة لاستعادة طاقة التدفق أو للحام أماكن التسرب فى خطوط مواسير الصرف، والتى لا تحتاج إلى الحفر. الطرق التى يتم اختيارها تتوقف على طبيعة المشكلة، الحاجة إلى استمرار التدفق أثناء الإصلاح، احتمال حدوث ارتباك للحركة المرورية، الاعتبارات التأمينية، التكاليف.

النظافة والتفتيش :

خطوط مواسير الصرف يجب نظافتها قبل التفتيش بالمعاينة المباشرة وتعيين نظام الصيانة. الدفق فى الخط (Flushing) باستخدام خرطوم المطافئ المتصل بخزان مياه الحريق وذلك بالتدفق فى غرفة تفتيش هى الطريقة العادية للنظافة. ولكن هذه الطريقة يجب أن تتم بحرص لمنع ارتداد المياه إلى المنازل المتصلة بنظام الصرف.

طريقة نظافة أخرى، لخطوط الصرف بدون حدوث انسداد حاد، وذلك باستخدام كرة مطاط لينة والتى تتطابق مع قطر الماسورة حيث تدفع بواسطة حبل خلال قطاع المواسير بين مطبقين. أحياناً يستخدم قضيب معدنى لتنظيف الماسورة وذلك باستخدام ماكينة دفع القضيب (Rodding Machine) وذلك للتنظيف الميكانيكى للخط من الانسداد. فى خطوط الصرف حيث التراكمات من الرمال بسبب سرعة التدفق البطيئة نسبيا، فإنه يمكن استخدام الونش الذى يدفع قادوس أو دلو خلال الخط لكشط الرواسب. عند استخدام أى من هذه الطرق فإن الرواسب المتجمعة يجب إزالتها والتخلص منها بطريقة صحيحة.

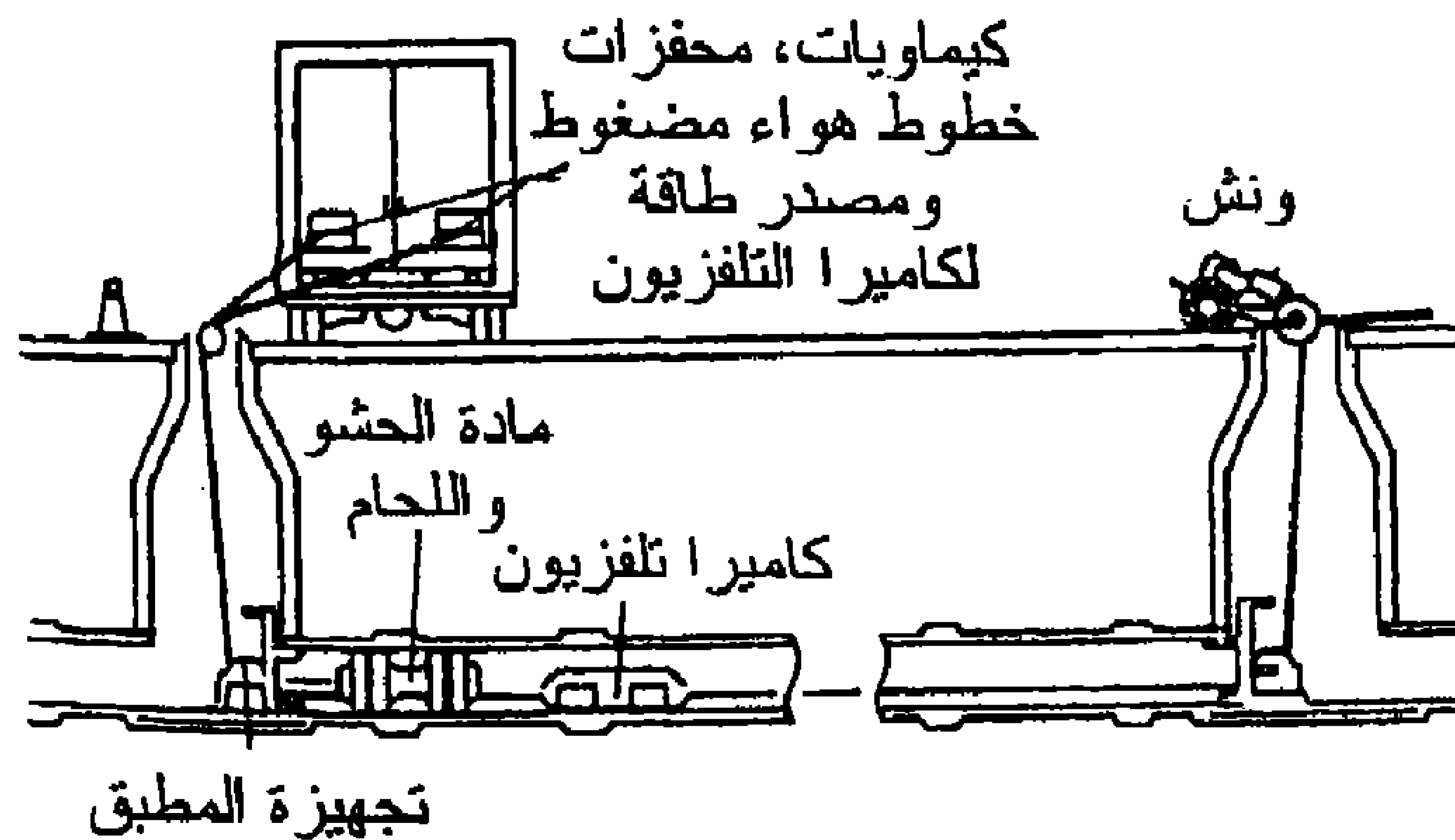
بعد النظافة فإنه يمكن عمل المعاينة البصرية باستخدام بطارية أثناء فترات التدفق المنخفض.

يمكن أن يتم التفتيش الأكثر اتقاناً باستخدام نظم الدوائر التليفزيونية المعلقة. التفتيش التليفزيوني يوفر التحديد الدقيق لأماكن التسرب، وكذلك دخول جذور النباتات، وأى مشاكل إنشائية. يتم دفع الكاميرا خلال قطاع المواسير بين المطبقين على وسيلة حمل خاصة، ويتم عمل تسجيل فوتوغرافي أو على شريط فيديو لعملية التفتيش.

الحقن بالملاط : (Grout)

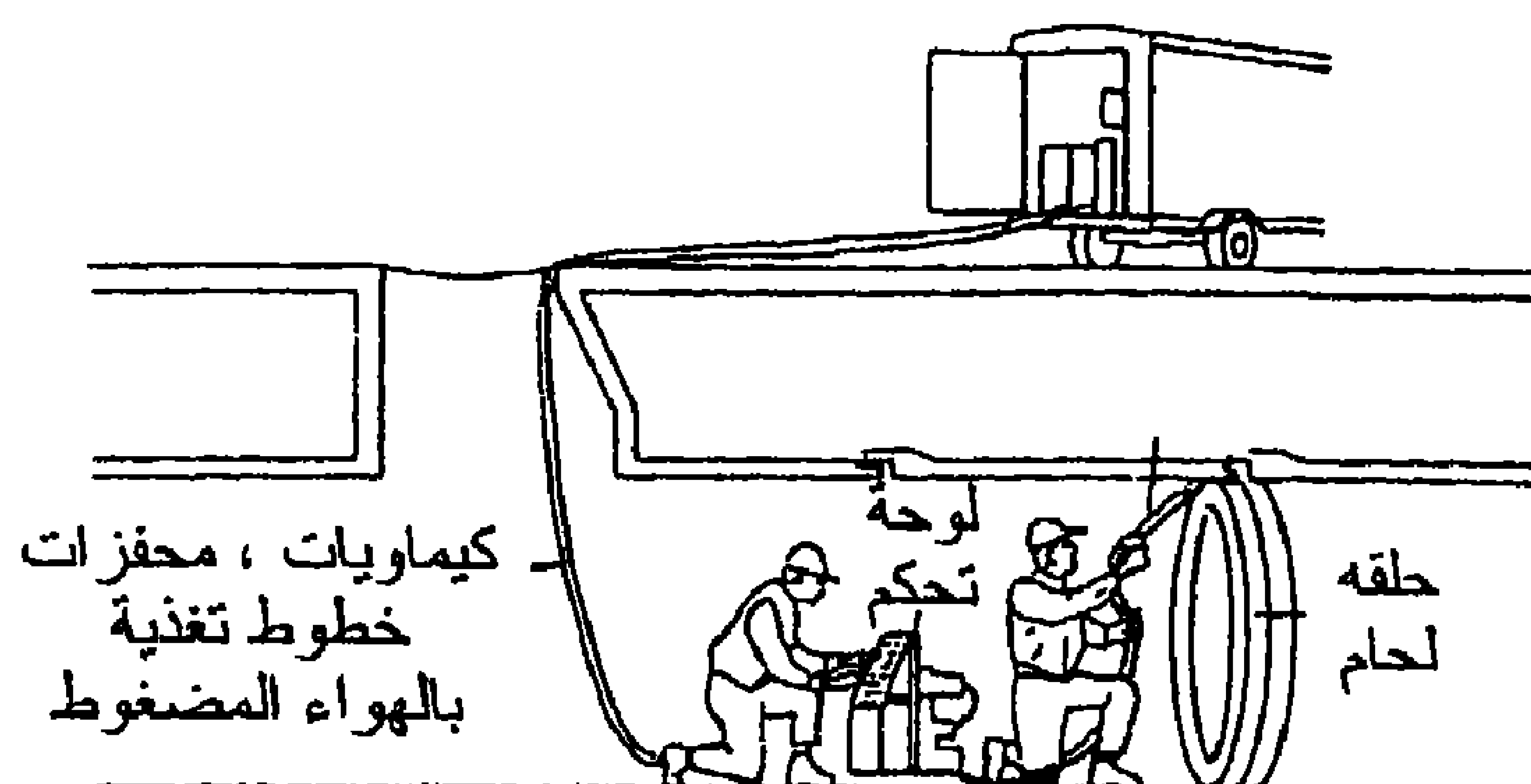
قفل نقاط وأماكن التسرب بمواد الملاط الكيماوية في خطوط الصرف تعتبر طريقة عادية من طرق الصيانة. يتم استخدام الملاط داخلياً نحو الوصلات، الثقوب، أو الشقوق باستخدام أدوات خاصة وتقنيات خاصة وذلك بدون الحاجة إلى الحفر. مواد الملاط من النوع الجيلاتيني التي تستخدم حيث تتجمد بعد دفعها في الوصلات أو الشقوق تحت الضغط. في حالة خطوط الصرف الصغيرة أو المتوسطة يمكن دفع مادة الحشو للحام بواسطة كم من المطاط (Sleeve) قابل للنفخ بين المطبقين، كما هو موضح في الشكل (٥/٢٣). تستخدم دائرة تليفزيونية مغلقة لتعيين مكان الحشو على الوصلة أو التشقق اللازم إصلاحه.

في خطوط ذات الأقطار الكبيرة، فإنه يجب دخول العمال الخط لوضع حلقة اللحام يدوياً فوق الوصلة الغير صحيحة كما هو موضح في الشكل (٥/٢٤). يتم ضخ مادة الملاط خلال مغرز محمول يدوياً. يجب اختبار الهواء داخل خط المواسير بالنسبة لثاني أكسيد الكربون وكبريتيد الهيدروجين والغازات المتفجرة وذلك قبل دخول العمال مع عمل احتياطات الأمان المناسبة.



شكل (٥/٢٣) في الخطوط الصغيرة،

يمكن دفع مادة الحشو واللحام خلال الخط لإصلاحه

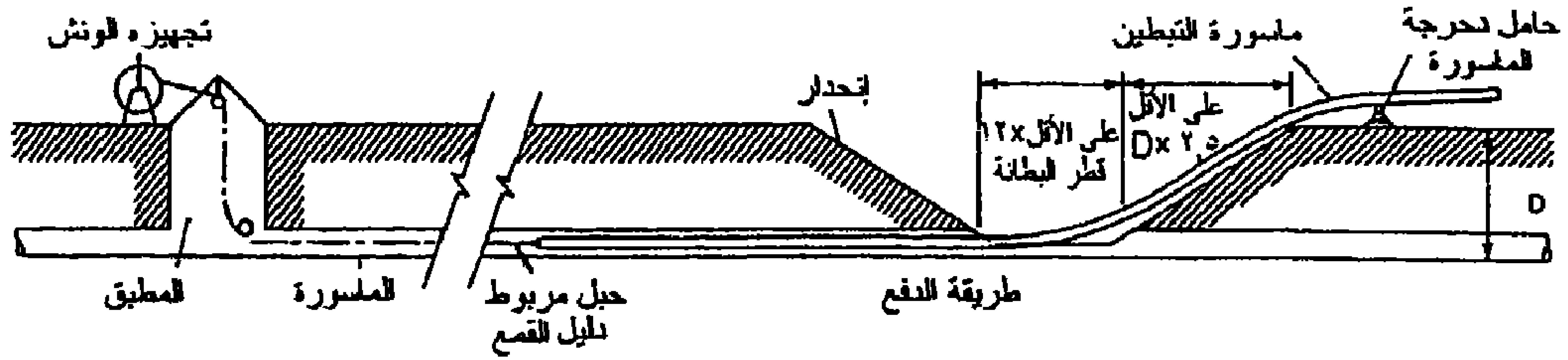


شكل (٥/٢٤) فى المواسير الكبيرة،
يجب دخول العمال فى الخط لإجراء عملية الإصلاح

التبطين : (Linings)

خطوط المواسير الضخمة حيث حدوث تلف ناتج عن تآكل السطح الداخلى العلوى (Crown) يمكن تقويتها باستخدام التبطين الداخلى بالمونة الأسمنتية بضغط الهواء (Gunite)، حيث يستخدم خليط من الرمل الناعم، والأسمنت والماء. يتم استخدام الهواء المضغوط برش المونة الأسمنتية والتي تلتصق بالسطح العلوى وأجناب الماسورة. يمكن تجديد أطوال كبيرة من المواسير الخرسانية باستخدام التبطين الهوائى بالمونة الأسمنتية.

الطريقة المستخدمة لإصلاح التشققات الخارجية لخطوط المواسير تسمى التبطين المنزلق (Sliplining). وهذه عبارة عن دفع ماسورة بلاستيك مرنة للتبطين فى الماسورة، ثم إعادة توصيل فرعات الخدمة المنفصلة مع البطانة. هذا موضح فى الشكل (٥/٢٥). أحياناً الفاصل المحيطى الضيق بين البطانة والماسورة القديمة يتم ملؤه بالمونة الأسمنتية لمنع الحركة. يلزم العديد من الحفر لربط كل فرعة خدمة إلى البطانة الجديدة. طريقة جديدة نسبياً مستخدمة حالياً تسمى التبطين العكسى (Inversion Lining) فى التبطين العكسى لا تكون هناك حاجة لحفر خط الخدمة. مادة البطانة المرنة التى تمتد لتتطابق مع الشكل الهندسى للماسورة يتم تصلبها وعلاجها بالحرارة. يمكن استخدام تجهيزة قطع خاصة مع دائرة مقفلة لكاميرا تليفزيونية لتجديد مكان وإعادة فتح وصلات الخدمة. يتم بناء البطانة خلال ماسورة موضوعة فى المطبق مع استخدام ضغط الهواء أو الماء لدفعها خلال الماسورة.عند وضع البطانة فى مكانها يتم تسخين الهواء أو الماء لبدء عملية التجمد والتصلب.



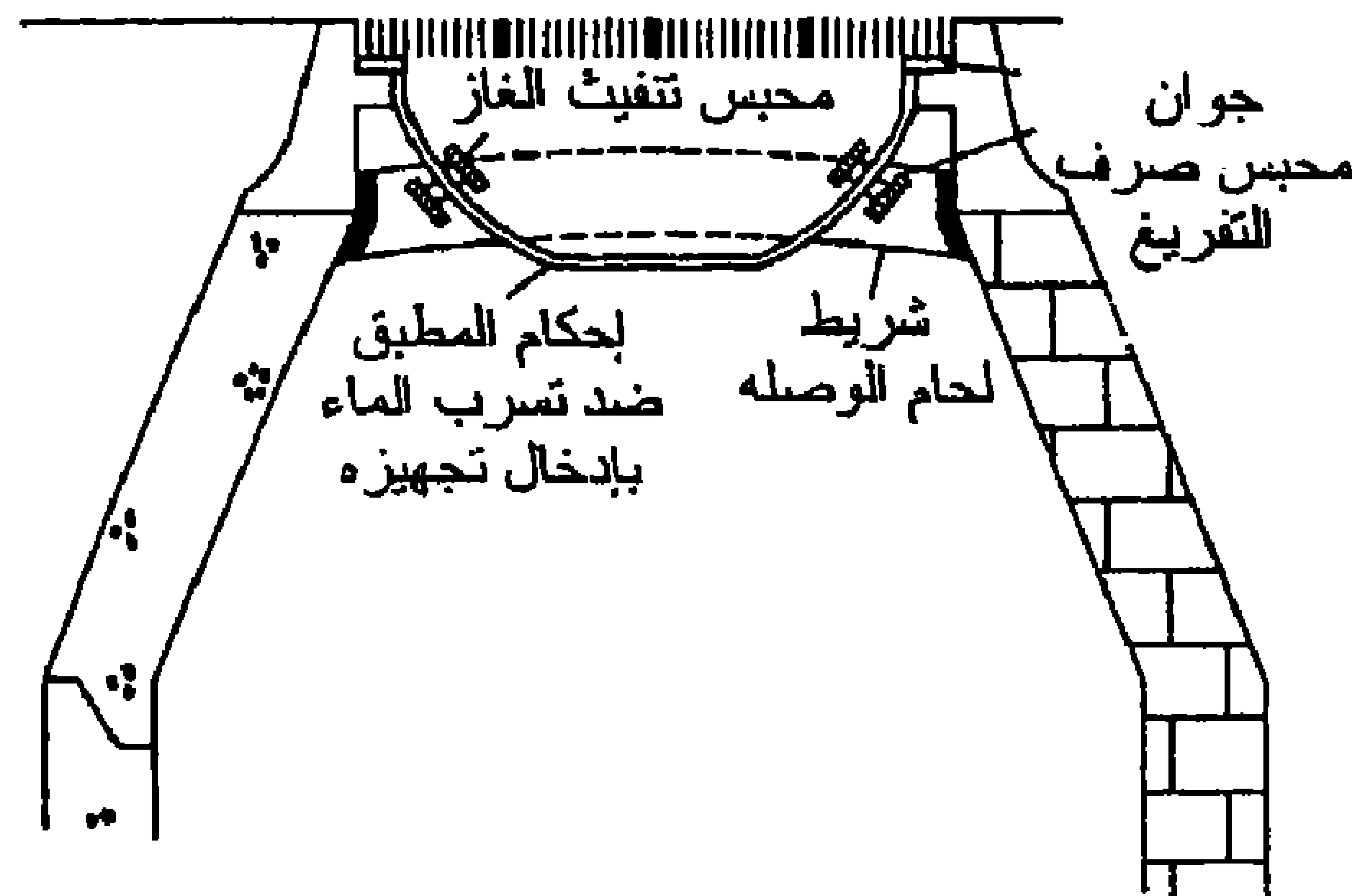
شكل (٥/٢٥) التبطين بالانزلاق هو أحد الطرق المستخدمة
فى إصلاح تشققات خطوط المواسير

المطابق ووصلات الخدمة : Manholes and Service Connections

المطابق عادة تحتاج إلى الإصلاح وذلك لعدم السماح بتدفق المياه السطحية بداخلها أو دخول المياه الجوفية. التدفقات السطحية يمكن أن تدخل إلى المطبق خلال الثقوب فى الغطاء، أو خلال الفواصل بين الغطاء والإطار، وأسفل الإطار نفسه فى حالة عدم إحكامه مع جسم المطبق. يمكن إعادة إحكام التصاق الإطارات باستخدام طبقة تغطية من الأيبوكسى المقاوم للماء.

أحيانا تستخدم طريقة مؤثرة لخفض التدفقات وهى برفع الإطار والغطاء بإضافة حلقة ضبط إضافية للمطبق ولزيادة الارتفاع وكذلك بتغطية الجزء المعرض بالأسمنت أو الأسفلت. طريقة أخرى وهى بإنشاء تجهيزة خاصة (Spechial Insert) بين الإطار والغطاء.

الشكل (٥/٢٦) يوضح التجهيزة الخاصة والتى تمنع دخول المياه والرمال من دخول المطبق، ولكن تسمح بتسرب الغازات خلال فتحات تصريف (Releif Vents).



شكل (٥/٢٦) تجهيزة يتم إدخالها أسفل غطاء المطبق
لمنع دخول المياه السطحية إلى الشبكة.

المطابق الخرسانية هى كذلك معرضة للتآكل بفعل حامض الكبرتيك ولـذلك فإنهـا أحياناً تحتاج إلى عمليات صيانة. كثير من التلف يتم عادة علاجه بالحفر واستبدال المطبق مع عمل الإجراءات لمنع حدوث مسببات التلف. الصيانة الإنشائية للمطابق ذات التلـف الغير حاد تتطلب أولا الإزالة للمادة التالفـة، باسـتخدام المـاء أو الرمـال أو الأدوات الميكانيكية. المادة المتبقية يتم عندئذ تثبيتها باستخدام مستحـضرات كيماويـة خاصـة، واستخدام مونة عالية الأسمنت لملء التموجات السطحية ثم عمل البطانة أو التغطية.

أحد أهم مشاكل الصيانة للمطابق هى تسرب المياه الجوفية خلال الحوائط الجانبيـة والأرضيات وحول مداخل الماسورة. يمكن استخدام التحشية باستخدام المواد الكيماويـة لحل هذه المشكلة.

الفصـــل السادس
معالجة وإعادة استخدام مياه الصرف الصحي

مقدمة :

الصرف الصحى الخام الغير معالج معظمه من الماء حيث يحتـوى علـى حـوالى ٩٩,٩% من الماء، ٠,١% فقط من الملوثات. بمعنى آخر لتر واحد (واحد كيلوجرام) من مياه الصرف عند تخبرها فإن المتبقى فقط هو واحد جرام من المواد الصلبة. بالمقارنـة، فإن مياه البحر تحتوى فقط على ٩٥,٥% ماء نقى حيث تحتوى على ٣,٥% من المخلفات المذابة. رغم أن مياه البحر تحتوى على ملوثات أكثر من مياه الصرف الصحى إلا أننا لا نعتبر مياه البحر أنها ملوثة. الفرق الهام هو ليس التركيز الكلى ولكن نوع الملوثـات، الملوثات فى مياه البحر معظمها أملاح غير عضوية، ولكن يحتمل أن تحتوى على كائنات جرثومية مسببة للأمراض.

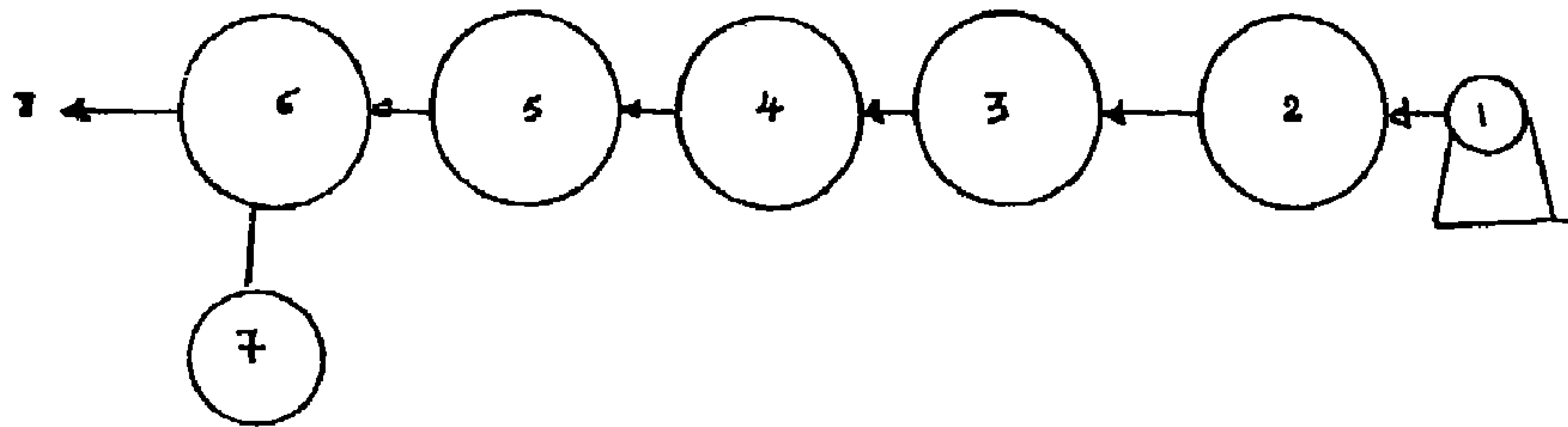
فى الواقع، مياه الصرف الصحى يمكن أن تحتوى على كثير من المواد المختلفة سواء عالقة أو مذابة، والتى يصعب التعرف على كل منها أو التعرف على الكائنات الحية الصغيرة. إجمالى كمية المواد العضوية مرتبط بتركيز مياه الصرف الصحى. وهذه يتم قياسها بواسطة الأكـسجين الحيوى (Biochemical Oxygen - Demand - BOD). عامل آخر متعلق بالصرف الصحى وهـو كمية المواد الصلبة العالقة (total Suspendid Solids - TSS). فى المتوسط مياه الصرف الصحى الغير معالج له قيمة أكسجين حيوى (BOD) حوالى ٢٠٠ ملجرام/لتر، مواد صلبة عالقـة (TSS) حوالى ٢٤٠ ملجرام/لتر. مياه الصرف الصناعى يمكن أن تحتوى على قـيم أعـلا لكـل مـن الأكسجين الحيوى والمواد الصلبة العالقة مقارنة بمياه الصرف الصحى.

مجموعة أخرى من الملوثات فى مياه الصرف الصحى وهى مواد الغـذاء للنبـات، وتحديداً مركبات النيتروجين والفوسفور. فى المتوسط مياه الصرف الخام تحتوى علـى حوالى ٣٥ ملجرام/لتر من النيتروجين، ١٠ ملجرام/لتر من الفوسفور. أخيراً فإن كميـة الكائنات الدقيقة الممرضة فى مياه الصرف يتوقع أن تتناسب مع تركيز بكتريا الكوليفورم. تركيز الكوليفورم وكذلك الأكسجين الحيـوى والمـواد الـصلبة العالقـة والنيتـروجين والفوسفور هى معايير نوعية المياه، والتى تم مناقشتها فى الفصل الخاص بنوعية المياه.

قبل التخلص من مياه الصرف الصحى فى المجال البيئى أو الدورة الهيدرولوجية الطبيعية، يكون من الضرورى عمل بعض المعالجات لحماية الصحة العامة ونوعية البيئة.

الغرض الرئيسى من معالجة الصرف الصحى تدمير الكائنات الحية الدقيقة المسببة للأمراض وإزالة معظم المواد العالقة والعضوية المذابة القابلة للتحلل البيولوجى. أحياناً يكون من الضرورى إزالة غذاء النبات من مركبات النيتروجين والفوسفور. التطهير بالكلور يمكن أن يدمر الكائنات الممرضة. إزالة المواد العضوية ومواد الغذاء للنبات يساعد على حماية البيئة المائية.

طرق المعالجة تتضمن ثلاث عمليات وهى المعالجة الأولية، المعالجة الثنائية أو البيولوجية ثم المعالجة الثلاثية أو المتقدمة. مخطط عمليات معالجة الصرف الصحى فى الشكل (٦/١) يوضح مراحل المعالجة للصرف الصحى الخام.



١- مضخة رفع مياه الصرف من البيارة

٢- المصافى ٣- حوض حجز الرمال

٤- حوض الترسيب الأولى

٥- المعالجة البيولوجية ٦- حوض الترسيب النهائى

٧- مياه الصرف المعالجة ٨- الحمأة

٩- التخلص من مياه الصرف المعالج

شكل (٦/١) مخطط لعمليات معالجة الصرف الصحى

حدود المعالجة لمياه الصرف الصحى :

المعايير	أقصى تركيز
الحمل العضوى BOD_5	٣٠ ملجرام/لتر
المواد الصلبة العالقة	٣٠ ملجرام/لتر
الرقم الهيدروجينى PH	٦ – ٩
الكلوليفورم الغائطى	٢٠٠ لكل ١٠٠سم٣

كما يلزم أحيانا التطهير بالكلور لقتل الكائنات الممرضة، وكذلك المعالجة لإزالة النيتروجين والفوسفور للمحافظة على البيئة المائية.

كفاءة المعالجة :

يمكن تعريف كفاءة المعالجة بأنها النسبة ما بين الملوثات التى أزيلت إلى الملوثات المتبقية فى مياه الصرف. فى الشكل الرياضي تكون كالآتى :

$$\text{الكفاءة} = \frac{\text{تركيز الملوثات فى الصرف الخام} - \text{التركيز فى المياه المعالجة}}{\text{التركيز فى المياه الخام}} \times ١٠٠$$

مثال :

صرف صحى خام له قيمة (BOD_5) ٢٠٠ ملجرام/لتر. ما هو أقصى تركيز لـ (BOD_5) بعد المعالجة، إذا كانت كفاءة محطة المعالجة ٨٥%، وإذا كان معدل التدفق ٥ مليون جالون فى اليوم كم عدد أرطال BOD سيتم صرفها فى اليوم.

الحل :

باستخدام المعادلة السابقة :

$$٨٥ = \frac{٢٠٠ - \text{التركيز فى المياه المعالجة (C)}}{٢٠٠} \times ١٠٠$$

$$\therefore ٢٠٠ - C = \frac{٨٥ \times ٢٠٠}{١٠٠}$$

تركيز BOD فى المياه المعالجة (C) = ٢٠٠ − ١٧٠ = ٣٠ ملجرام/لتر.

رطل فى اليوم = $C \times Q \times ٨,٣٤$

= ٨,٣٤ × ٥ مليون جالون فى اليوم × ٣٠ جزء فى المليون.

= ١٣٠٠ رطل فى اليوم.

مثال :

مياه صرف صحى خام بها مواد صلبة عالقة ٢٥٠ ملجرام/لتر. إذا كان متوسط المواد الصلبة العالقة فى المياه المعالجة هو ٢٠ ملجرام/لتر. ما هى كفاءة الإزالة للمواد

الصلبة العالقة. إذا كان معدل التدفق ٥ مليون لتر فى اليوم، ما هو عدد الكيلوجرامات من المواد الصلبة العالقة التى يتم صرفها من محطة الصرف الصحى يومياً.

الحل :

$$\text{الكفاءة} = \frac{٢٥٠ - ٢٠}{٢٥٠} \times ١٠٠ = ٩٢\%$$

عدد الكيلوجرام فى اليوم من المواد الصلبة

= ٥ مليون لتر/ اليوم × ٢٠ ملجرام/ لتر = ١٠٠ كيلوجرام.

٢- المعالجة المسبقة لمياه الصرف الصناعى

Pretreatment of industrial Waste Water

مياه الصرف الصحى تأتى من مصادر مختلفة بما فيها مياه صرف المصانع، مياه صرف المصانع عادة تحتوى على كيماويات سامة مثل السيانيد من عمليات الطلاء المعدنى والرصاص من مصانع إنتاج البطاريات. تحدث مشاكل كثيرة عند صرف مخلفات الصرف الصناعى إلى محطات معالجة الصرف الصحى.

التمرير بدون معالجة: المواد السامة الغير قابلة للتحلل البيولوجى يمكن أن تمر خلال محطة المعالجة، مسببة التلوث للماء، هذا التلوث يسبب خطورة على الأحياء المائية ومن خلال السلسلة الغذائية حيث تنقل مخاطر الأمراض إلى الإنسان.

التداخل : مخلفات الصرف الصناعى السامة قد تتداخل مع عملية المعالجة لمياه الصرف الصحى وخاصة تلك العمليات التى تستخدم البكتريا لتثبيت المواد العضوية فى مياه الصرف.

التلوث : المخلفات الصناعية ذات المستوى العالى من المعادن السامة أو المواد العضوية يمكن أن تلوث حمأة الصرف الصحي وبذا تقلل من بدائل التخلص من الحمأة حيث ترتفع تكاليف التخلص.

التآكل: مياه الصرف الصناعى يمكن أن تسبب التآكل والتلف للمواسير والمعدات فى شبكات تجميع الصرف ومحطات المعالجة.

الخطورة: بعض المخلفات الصناعية شديدة التبخر ويمكن أن تسبب حدوث الانفجار. مخلفات أخرى يمكن أن تنتج غازات سامة، بما يشكل خطورة على العاملين فى محطة المعالجة والقريبين منها.

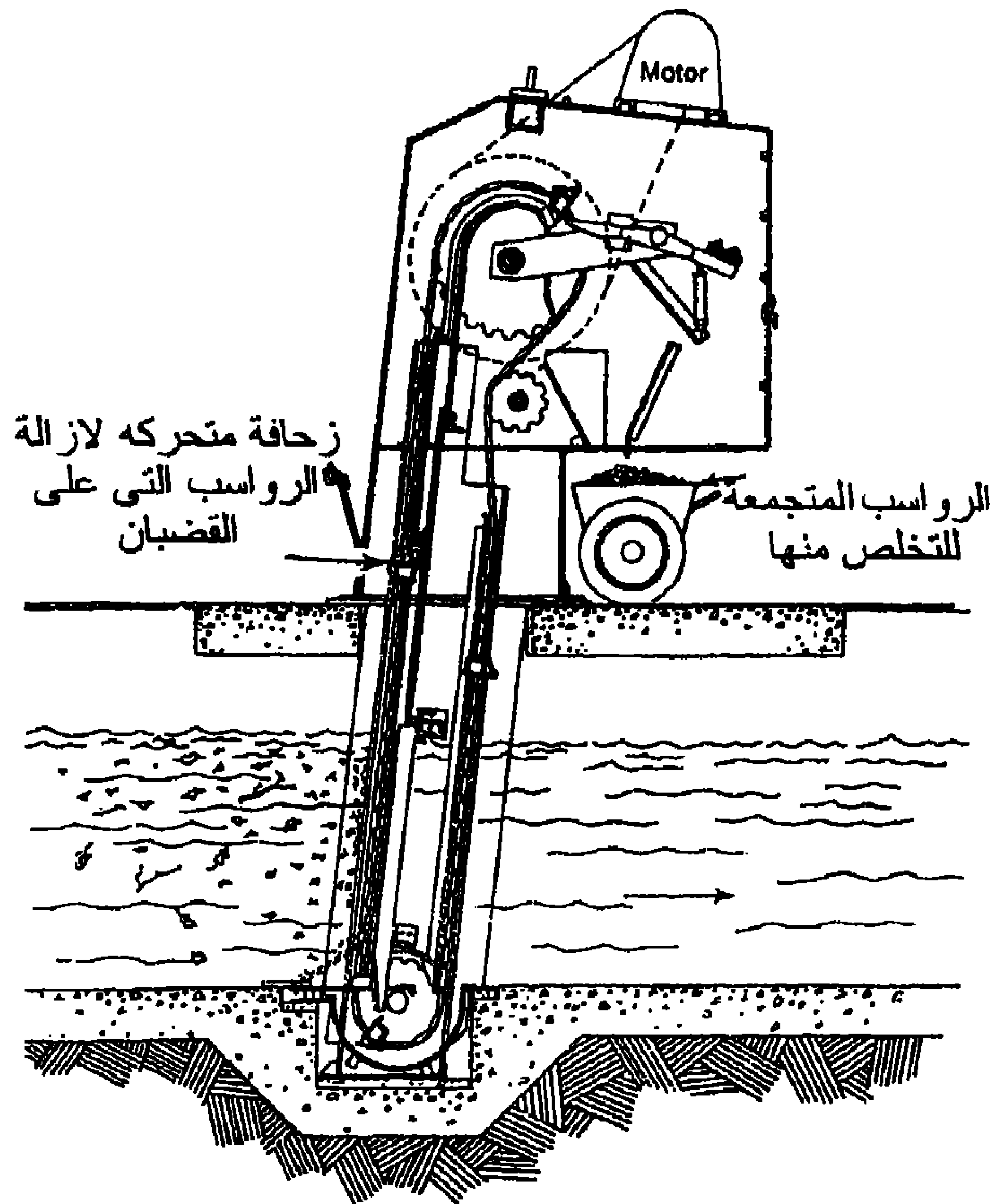
هذه المشاكل يمكن تجنبها بالمعالجة المسبقة لمياه الصرف الصناعى فى موقع الإنتاج قبل صرفها على شبكة الصرف الصحى.

ولذلك فقد أصدرت الهيئات المسئولة عن حماية البيئة المعايير لمياه الصرف الصناعى المقرر صرفها على المسطحات المائية أو فى شبكة الصرف الصحى لتجنب مخاطرها فى الحالتين، وذلك من خلال بعض المعالجات المسبقة أو النهائية.

٢- المعالجة الأولية Preliminary and Primary Treatment

مياه الصرف الخام الغير معالجة عادة تتدفق بالجاذبية من خطوط مواسير الصرف الصحى إلى محطة المعالجة، وأحياناً يتم ضخ مياه الصرف إلى محطة المعالجة. مكونات محطة المعالجة تشمل قياس التدفق بواسطة (Parshall Flume) وتجهيزات ميكانيكية مثل المصافى، وأجهزة التقطيع، وأحواض إزالة الرمال.

أول مراحل المعالجة لمياه الصرف الخام هى المصافى ذات الفتحات الواسعة، وهذه تسمى مصافى القضبان المصنوعة من قضبان معدنية طويلة ذات فواصل ضيقة حوالى ٢٥مليمتر. وهذه تحجز الأعشاب الطافية والأخشاب..الخ، وكذلك الأغراض الضخمة التى يمكن أن تسبب الانسداد للمواسير أو إحداث التلف للمعدة الميكانيكية فى باقى المحطة. فى معظم محطات معالجة الصرف الصحى الكبيرة يتم تنظيف مصافى القضبان ميكانيكياً بتجهيزات ميكانيكية كما هو موضح فى الشكل (٦/٢). الأعشاب والمخلفات التى يتم تجميعها على المصفاة يتم التخلص منها عادة بالدفن فى التربة، فى بعض محطات المعالجة يتم إنشاء جهاز التقطيع للكتل الضخمة، والذى يتكون من مصفاة مستديرة مثبتة مع سكاكين قطع دوارة، حيث يقوم بتقطيع الأجسام التى مرت خلال المصفاة. المواد التى يتم تقطيعها تزال من مياه الصرف بالترسيب أو الطفو فى محطة المعالجة. فى محطات المعالجة الصغيرة عادة يتم وضع المصفاة ذات التنظيف اليدوى فى قناة بعد جهاز التقطيع للعمل كممر جانبى للطوارئ وذلك عند الحاجة إلى إصلاح جهاز التقطيع.



شكل (٦/٢) مصفاة القضبان

حجز الرمال : Grit Removal

جزء من المواد الصلبة العالقة فى مياه الصرف الخام يتكون من مواد رملية ومواد صلبة أخرى خاملة. ولذلك فإن عملية حجز الرمال والمواد الصلبة يتم بعد استخدام المصافى و/أو أجهزة التقطيع لحماية الطلمبات والمعدات الأخرى فى المحطة من التلف بفعل البرى والبلى بهذه المواد الصلبة. فى شبكة مواسير الصرف الصحى، تكون سرعة التدفق لمياه الصرف حوالى ٦٠سم/ث وهذه تسمى سرعة التنظيف الذاتى. كثير من المواد الرملية الصلبة يمكن أن ترسب بالجاذبية وذلك فى حالة خفض سرعة التدفق إلى ٣٠سم/ث. رغم أن الرمال سترسب عند هذه السرعة المنخفضة إلا أن المواد الصلبة العضوية الأقل فى الكثافة سيتم حملها إلى مرحلة المعالجة التالية.

فى حوض حجز الرمال يكون زمن المكث (Detention Time) دقيقة واحدة وقد يجهز بهدار لحجز الأجسام الطافية والتخلص منها وكذلك يمكن أن يتم تغذيته بالهواء

المضغوط للمساعدة فى طفو الأجسام العالقة. وأحواض حجز الرمال عادة تكون طويلة وضيقة تسمى (Grit Chambers) . سرعة التدفق فى الحوض يمكن أن تكون ٣٠سم/ث باستخدام هدار مخرج ذو شكل معين. تستخدم لإزالة الرمال من الحوض أجهزة تجميع ميكانيكية من قواديس أو من السلاسل المستمرة حيث يتم التخلص من الرمال بالدفن في التربة. فى حالة استخدام الهواء فى حوض حجز الرمال فإن فقاعات الهواء تساعد فى أن تظل المواد الصلبة العضوية عالقة بينما ترسب الرمال إلى القاع.

الترسيب الأولى : (Primary Sedimentation)

بعد حوض حجز الرمال، تظل مياه الصرف محتوية على مواد صلبة عضوية عالقة والتى يمكن إزالتها بالترسيب الحر. أحواض الترسيب الأولى يكون زمن المكث فيها من ١ - ٢ ساعة. الأحواض يمكن أن تكون دائرية أو مستطيلة. بالإضافة إلى جهاز جمع الحمأة الميكانيكى الذى يقوم بكشط المواد الصلبة المترسبة على القاع ورفعها على قمع تجميع الحمأة للتخلص النهائى، فإنه يمكن استخدام تجهيزة كشط سطحية لإزالة الشحوم وأى مواد طافية أخرى من سطح السائل. أحياناً يمكن إضافة الكيماويات لإزالة الأجسام الغروية الصغيرة (Colloidal).

هذه المعالجة الأولية (المصافى وأحواض حجز الرمال) يمكن أن تزيل حتى ٦٠% من المواد الصلبة العالقة، وحتى ٣٥% من الحمل العضوى (BOD) من مياه الصرف. ولذلك فإن مياه الصرف يجب أن يتم لها المعالجة الثنائية (Secondary Treatment)، والمعالجة الثلاثية طبقاً للموقف.

٣- المعالجة الثنائية (أو البيولوجية) :

عمليات المعالجة الأولية تزيل فقط تلك الملوثات التى تطفو أو ترسب بالجاذبية، ولكن يظل حوالى نصف حمل الملوث الخام فى مياه الصرف بعد المعالجة الأولية. والغرض من المعالجة الثنائية هو لإزالة المواد الصلبة العالقة التى لم ترسب بالجاذبية فى أحواض الترسيب الأولى وكذلك الحمل العضوى المذاب (BOD) الذى لم يتأثر بالمعالجة الأولية الطبيعية. تعتبر المعالجة الثنائية عموماً أنها تعنى إزالة ٨٥% من الحمل العضوى (BOD) أى من الأكسجين الحيوى المطلوب والإزالة الإجمالية للمواد الصلبة العالقة وهذه تمثل أدنى درجة من المعالجة المطلوبة فى معظم الحالات. والمعالجة الثنائية هى غالباً معالجة بيولوجية، حيث المعالجة البيولوجية لمياه الصرف الصحى تتضمن استخدام

الكائنات الحية الدقيقة. هذه الكائنات الدقيقة (الميكروبات) شاملة البكتريا والبروتوزوا تستهلك الملوثات العضوية كغذاء. عملية الأيض (Metabolizm) (والتى تعنى تحويل الغذاء والطاقة إلى خلايا حية) التى تقوم بها الكائنات الدقيقة هى بأيض المواد العضوية القابلة للتحلل البيولوجى (Biodegradable) وتحويلها إلى ثانى أكسيد الكربون والماء والطاقة وذلك لنموها وتكاثرها. هذه العملية الهوائية الطبيعية تحتاج إلى الأكسجين.

نظام المعالجة البيولوجية لمياه الصرف الصحى يجب أن يوفر الكائنات الحية الدقيقة مع إيواء مريح. ذلك لأن محطة المعالجة تمكن الميكروبات من تثبيت الملوثات العضوية فى بيئة صناعية محكمة من الصلب أو الخرسانة، وليس فى بحيرة أو فى مجرى مائى. هذا يساعد على حماية اتزان الأكسجين المذاب فى البيئة الطبيعية للكائنات المائية.

للمحافظة على الأداء الجيد للميكروبات ونموها وتكاثرها فى معالجة مياه الصرف الصحى فإنه يلزم إمدادها بالأكسجين الكافى، والالتصاق الجيد مع المادة العضوية فى مياه الصرف، ودرجة الحرارة المناسبة، وظروف أخرى جيدة. تصميم وتشغيل محطة المعالجة الثنائية يجب أن يراعى هذه العوامل.

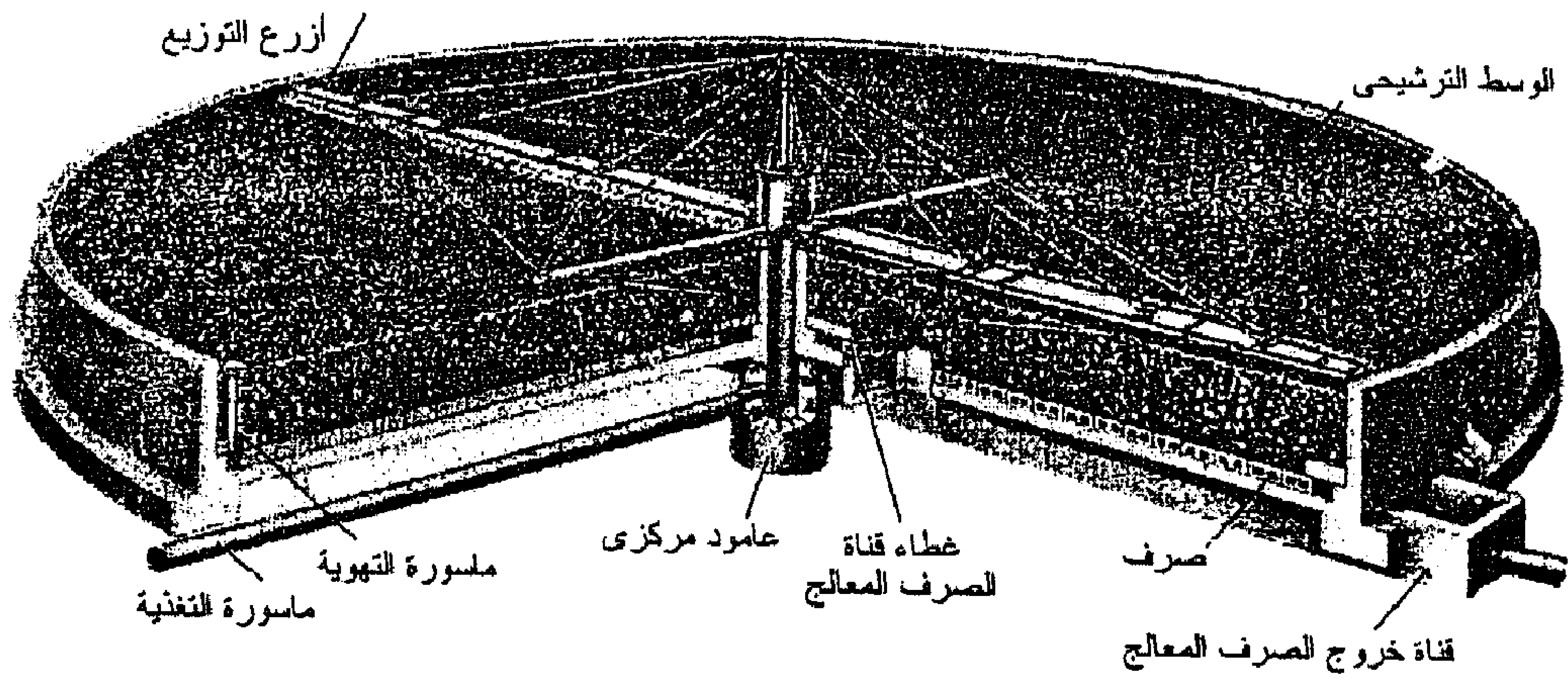
من بين نظم المعالجة البيولوجية المستخدمة عادة هى عملية المعالجة بالمرشحات الزلطية (Trickling Filters)، وعملية المعالجة بالحمأة المنشطة (Activated Sludge). المرشح الزلطى هو نظام النمو الثابت: الميكروبات تظل ثابتة أو ملتصقة على السطح بينما تتدفق المياه فوق هذا السطح (زلط أو ركام أو أشكال البلاستيك الحبيبية كوسط ترشيحى). وذلك لتوفير الالتصاق مع المواد العضوية، الحمأة المنشطة تتصف بأنها نظام النمو العالق، ذلك لأن الميكروبات يتم خلطها جيداً وتظل عالقة فى مياه الصرف الصحى وليست ملتصقة على السطح الحبيبى.

المرشحات الزلطية : (Trickling Filters)

يتكون المرشح الزلطى أساساً من طبقة من قطع الأحجار بعمق ٢متر. وهو عادة مستدير الشكل ويمكن أن يصل قطره إلى ٦٠متر. المرشحات الزلطية دائماً تسبقها المعالجة الأولية لإزالة المواد الصلبة كبيرة الحجم والقابلة للترسب. السائل بعد المعالجة الأولية يتم رشه على سطح قطع الأحجار حيث يسرى إلى أسفل خلال طبقة قطع الأحجار إلى نظام الصرف السفلى.

ذراع الموزع الدوار بفتحات ضيقة (Nozzles) على طول الذراع يستخدم عادة لرش مياه الصرف، رغم أنه أحياناً تستخدم نافورات (Nozzles) ثابتة. الذراع الدوار للموزع المزود بالفتحات الضيقة يركب على عامود مركزى فى المرشح الزلطى، يتم تدويره بقوة رد الفعل أو أداء البثق (Jet Action) لمياه الصرف الصحى التى تتدفق خلال الفتحات الضيقة.

نظام الصرف السفلى يعمل على تجميع وحمل مياه الصرف من قاع الطبقة وكذلك تسمح بتدوير الهواء إلى أعلى خلال القطع الحجرية. طبقاً لطبوغرافية محطة المعالجة فإن مياه الصرف تتدفق من حوض الترسيب الأولى إلى المرشح الزلطى بالجاذبية وليس بالضخ. مقطع فى وحدة المرشح الزلطى موضح فى الشكل (٦/٣).



شكل (٦/٣) مقطع فى المرشح الزلطى

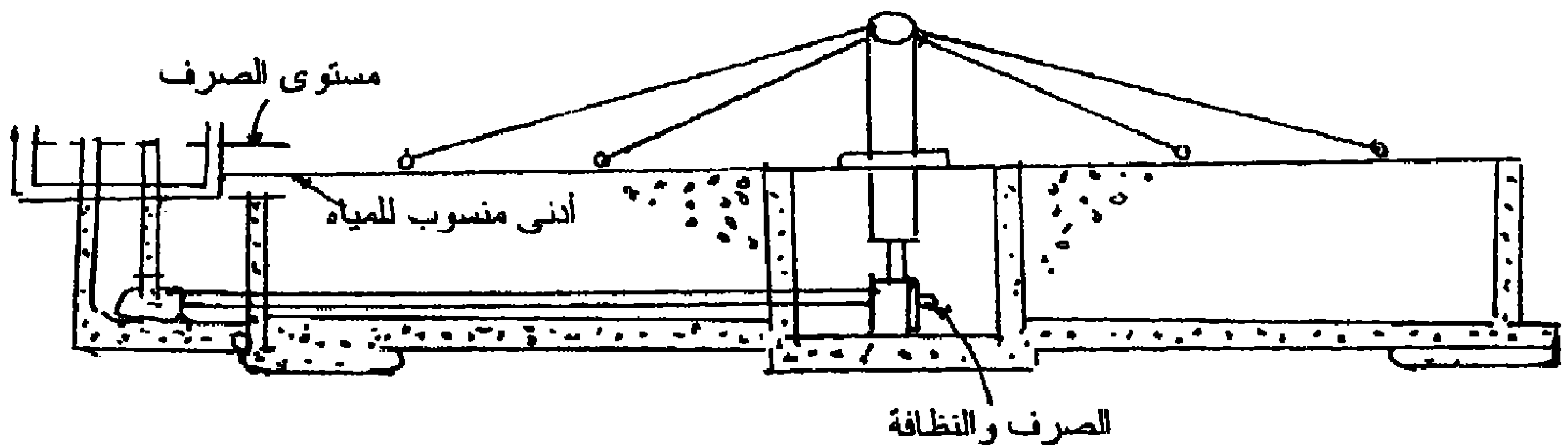
مع سريان السائل الأولى إلى أسفل خلال طبقة القطع الحجرية، فإنه تتكون طبقة عضوية بيولوجية (Slime) من الميكروبات على أسطح القطع الحجرية. استمرار التدفق لمياه الصرف فوق النمو البيولوجي الثابت هذا يوفر الالتصاق المطلوب بين الميكروبات والمواد العضوية. الميكروبات فى الطبقة الرقيقة العضوية تمتص المواد العضوية المذابة، وبذا تزال المواد التى تحتاج إلى الأكسجين من مياه الصرف. دوران الهواء خلال الفراغات فى طبقة القطع الحجرية يوفر الأكسجين المطلوب لتثبيت المواد العضوية بالميكروبات. ولكن يجب ملاحظة أن المرشح الزلطى ليس مرشحاً على الإطلاق، بمعنى الكلمة. القطع الحجرية هى عادة بقطر ٧٥ مليمتر، أكبر بكثير من أن تحتجز أو أن ترشح المواد الصلبة العالقة. وكذلك ليس لها تأثير على المواد الصلبة المذابة. القطع الحجرية

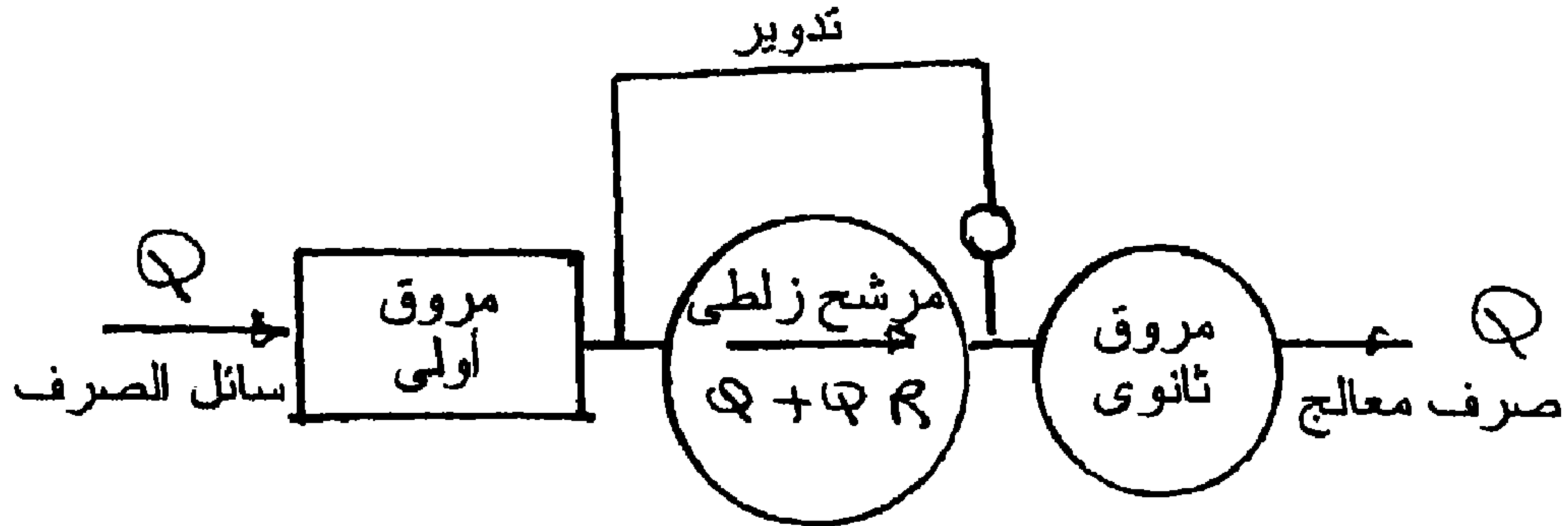
فى المرشح الزلطى تعمل فقط فى توفير كمية كبيرة من المساحة السطحية للنمو البيولوجي والمسام الكبيرة (الفراغات) بين القطع الحجرية توفر التدوير للهواء. أحيانا، تستخدم مواد بخلاف القطع الحجرية مثل القطع من البلاستيك المعرج أو (Red Wood salts) لتوفير المساحة السطحية المطلوبة والمساحات الفراغية، ولكن الغرض الرئيسى والاستخدام يظل كما هو.

مع نمو الكائنات الحية الدقيقة وتكاثرها فإن الطبقة الهلامية العضوية (Slime Layer) يزداد سمكها لدرجة أن تدفقات مياه الصرف تدفعها بعيداً عن أسطح القطع الحجرية، وهذا يسمى الحمأة (Sloughing). نظراً لأن الحمأة لا تحدث دوريا، فإنه توجد الحاجة لتوفير زمن ترسيب للسائل الخارج من المرشح الزلطى وذلك لإزالة الأجسام البيولوجية العالقة بالسائل الساقط. هذه المواد الصلبة تتكون أساسا من بلايين الكائنات الحية الدقيقة التى امتصت المواد العضوية المذابة فى أجسامها. السائل الخارج والساقط من طبقة القطع الزلطية يتم تجميعه فى نظام الصرف السفلى ثم يتم إرساله إلى حوض ترسيب يسمى المروق الثانى، وهو يشبه المروق الأولى، رغم وجود فرق فى زمن المكث، معدل التدفق، تحميل الهدار (weir loading) وتفاصيل أخرى.

لاستمرار المعدل الثابت للتدفق خلال المرشح الزلطى ولاستمرار ذراع الموزع فى الدوران حتى أثناء فترات التدفقات المنخفضة لمياه الصرف، فإن بعض من مياه الصرف يمكن إعادة تدويره. بمعنى آخر، جزء من المياه الخارجة من المرشح يتم ضخها ثانياً إلى مدخل المرشح الزلطى بحيث تمر خلال طبقة القطع الحجرية للمرشح أكثر من مرة.

التدوير يمكن أن يساعد فى تحسين كفاءة إزالة الملوثات، حيث تسمح للكائنات الدقيقة فى إزالة المواد العضوية التى تدفقت معها خلال المرور السابق خلال الطبقة. يوجد كثيراً من نظم التدوير وإعادة التدوير ولأشكال محطات المرشحات الزلطية، أحد هذه الأشكال موضح فى الشكل (٦/٤).





شكل (٦/٤ –ب) مخطط يوضح تدوير التدفق خلال المرشح الزلطى، معدل تدفق الصرف يساوى مجموع تدفق الصرف الخام زائد تدفقات التدوير

تكرار التدوير : (Recalculation)

كمية التدوير تختلف وهى تتصف بنسبة التدوير، والتى هى النسبة بين التدفق الذى يتم تدويره وتدفقات مياه الصرف الخام. ويعبر عنه بالمعادلة الآتية :

$$R=\frac{Q_R}{Q}$$

حيث :

R = نسبة التدوير.

Q_R = معدل تدفق سائل التدوير.

Q = معدل تدفق سائل الصرف الصحى الخام.

نسبة التدوير R، هى عموماً فى المجال ما بين صفر إلى ٣.

الحمل الهيدروليكى : Hydraulic Load

المعدل الذى تتدفق به مياه الصرف الصحى على سطح المرشح الزلطى يسمى الحمل العضوى. الحمل العضوى يشمل التدفق المعاد تدويره (Q_R)، التدفق الكلى خلال المرشح الزلطى يساوى $Q_R + Q$ وفى شكل معادلة يكون الحمل العضوى كالآتى :

$$\text{الحمل العضوى} = \frac{Q_R + Q}{A_S}$$

حيث :

Q = معدل تدفق مياه الصرف الصحى الخام.

Q_R = معدل تدفق سوائل إعادة التدوير.

As = المساحة السطحية للمرشح الزلطى (مسقط رأسى).

يمكن التعبير عن الحمل الهيدروليكى بالمتر المكعب/ اليوم/ المتر المربع من المساحة السطحية أو م٣/ م٢/ اليوم. كما يمكن التعبير عنه بالمليون جالون/فدان. القيمة النموذجية للمرشح الزلطى التقليدى هى ٢٠م٣/ م٢/ اليوم (١٩ مليون جالون/ الفدان/ اليوم).

الحمل العضوى (BOD) : Organic Load

المعدل الذى يتم به دخول المادة العضوية إلى المرشح الزلطى تسمى الحمل العضوى أو حمل الأكسجين الحيوى المطلوب (BOD). وهو لا يشمل الحمل العضوى المضاف بالتدوير. يعبر عن الحمل العضوى بالكيلو من (BOD) على المتر المكعب من حجم طبقة الترشيح فى اليوم أو كيلوجرام/ المتر المكعب/اليوم. ويمكن كذلك التعبير عنه بالرطل من (BOD) على ألف قدم مكعب من حجم الطبقة على اليوم. القيمة المثالية للحمل العضوى على المرشح الزلطى هى ٠,٥كجرام/م٣/اليوم. أو ٣٠رطل/١٠٠٠قدم مكعب/ اليوم. يمكن التعبير عن الحمل العضوى بالمعادلة الآتية:

الحمل العضوى= $\frac{Q \times BOD}{V}$ بالوحدات المترية

= ٨٣٤٠ × $\frac{BOD \times Q}{V}$ وحدات أمريكية

مثال :

مرشح زلطى بعمق ٢متر بقطر ١٨متر يعمل بنسبة تدوير ١,٥. معدل التدفق لمياه الصرف الصحى هو ٢,٥ مليون لتر/ اليوم، الحمل العضوى (BOD) لمياه الصرف الصحى الخام هو ٢١٠ ملجرام/لتر. بفرض أن نسبة الإزالة من الحمل العضوى لحوض الترسيب الأولى هى ٣٠%، أحسب الحمل الهيدروليكى والحمل العضوى على المرشح الزلطى :

الحل :

أولاً، احسب المساحة السطحية للمرشح الزلطى :

$$As = \frac{\pi D^2}{4} = \frac{\pi \times 18^2}{4}$$ ٢٥٤,٥ متراً مربعاً

حيث أن الحجم = المساحة × العمق.

∴ الحجم = ٢٥٤,٥م٢ × ٢متر = ٥٠٩ متر مكعب.

، $Q_R = R \times Q$ = ١,٥ × ٢,٥ = ٣,٧٥ مليون لتر/ اليوم.

كذلك $Q + Q_R$ = ٢,٥ + ٣,٧٥ = ٦,٧٥ مليون لتر/ اليوم.

= ٦٢٥٠ متر مكعب/ اليوم

∴ الحمل الهيدروليكى $\frac{٦٢٥٠}{٢٥٤,٥}$ = ٢٥م٣/م٢/اليوم

سائل الصرف الصحى بعد المعالجة الأولية يمكن حساب حمله العضوى (BOD) بالآتى :

$$٣٠ = \frac{٢١٠ - P}{٢١٠} \times ١٠٠$$

$$\therefore P = \frac{٣٠ \times ٢١٠}{١٠٠}$$ = ١٤٧ جزء فى المليون

∴ الحمل العضوى $\frac{١٤٧ \times ٢,٥}{٥٠٩}$ = ٠,٧٢ كجرام/ م٣/اليوم

الكفاءة : Efficiency

كفاءة المرشح الزلطى فى إزالة الحمل العضوى تتوقف على الحمل العضوى، نسبة التدوير، درجة حرارة مياه الصرف. عموماً تزداد الكفاءة مع انخفاض الحمل العضوى، زيادة التدوير، وارتفاع درجة الحرارة. فمثلاً، مع نسبة التدوير (R= صفر)، ودرجة الحرارة ٢٠ °م، فإن المرشح الزلطى ستكون كفاءته حوالى ٦٠% عندما يكون الحمل العضوى حوالى ٢كجرام/م٣/ اليوم. ولكن إذا كان الحمل العضوى ٠,٥كجرام/م٣/اليوم فى نفس ظروف التدوير ودرجة الحرارة، فإن الكفاءة تصبح ٧٥%.

بالإضافة إلى ذلك فإنه عند حمل عضوى ٠,٥كجم/م٣/اليوم والتدوير R =١ بدلاً من صفر فإن الكفاءة سترتفع لتكون ٨٠% .إذا زادت درجة الحرارة حتى ٢٢ °م فإن الكفاءة سترتفع إلى ٨٥%. بسبب التأثير الواضح لدرجة الحرارة على الكفاءة فإن المرشحات الزلطية فى مناخ دول الشمال تكون عادة محاطة بقبة من الصوف الزجاجى لتوفير الحماية ضد الرياح والثلوج وخفض معدل الفقد الحرارى من مياه الصرف.

مثال :

كفاءة المرشح الزلطى لإزالة الحمل العضوى (BOD) هى ٧٩%، وكفاءة المعالجة الأولية التى تسبق المرشح الزلطى هى ٣٥%. إذا كان الحمل العضوى لمياه الصرف الخام هو ٢٠٠ ملجرام/لتر، ما هو الحمل العضوى للمياه المعالجة الخارجة من المرشح الزلطى؟ وهل محطة المعالجة توفر الكفاءة التى تتوافق مع المعالجة الثنائية.

الحل :

رغم أن المعالجة البيولوجية والترويق الثنائى يوفر إزالة حمل عضوى ٧٠% فقط، فإنه يجب تذكرة أن ٣٥% من الحمل العضوى الخام تم إزالته فى الترسيب الأولى. لذلك ٦٥% أو ٠,٦٥ × ٢٠٠ = ١٣٠ ملجرام/لتر تظل كحمل عضوى فى مياه الصرف بعد المعالجة الأولية.

ولكن ٧٩% من الحمل العضوى الداخل إلى المرشح الزلطى يتم إزالته، تاركاً ٢١%، أو ٠,٢١ × ١٣٠ = ٢٧ ملجرام/لتر فى مياه الصرف الخارجة من المعالجة الثنائية. الكفاءة الكلية للوحدة هى لذلك تحسب كالآتى :

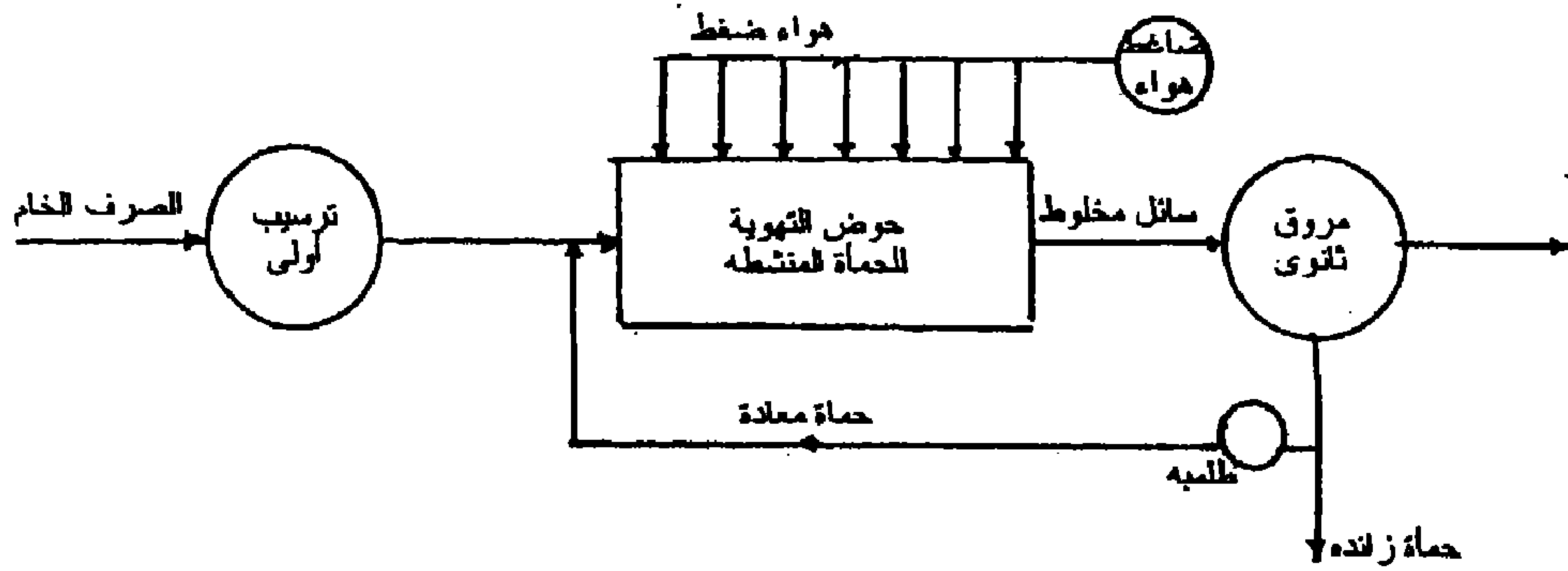
$$\text{الكفاءة} = \frac{٢٠٠ - ٢٧}{٢٠٠} \times ١٠٠ = ٨٧\%$$

وهذا أكبر من ٨٥%، لذلك فإن محطة المعالجة توفر المعالجة الثنائية.

المعالجة بالحمأة النشطة : (Activated Sludge Treatment)

المكونات الأساسية لنظام معالجة مياه الصرف الصحى بالحمأة المنشطة تشمل حوض التهوية وحوض الترسيب الثانى أو المروق. يتم خلط المياه الخارجة من المعالجة الأولية مع الحمأة المرسبة التى يتم تدويرها من المروق الثانى ثم دخولها إلى حوض التهوية. يتم

حقن الهواء المضغوط باستمرار فى المحلول خلال ناشرات مثقبة مركبة عند قاع الحوض على طول جانب واحد. هذا موضح فى الشكل (٦/٥).



شكل (٦/٥) مخطط لمحطة حماة منشطة تقليدية

فى حوض التهوية تستهلك الكائنات الحية الدقيقة المواد العضوية المذابة كغذاء. الكائنات الدقيقة تمتص المواد العضوية هوائياً وتحللها باستخدام الأكسجين الذى يتوفر فى الهواء المضغوط، الماء، ثانى أكسيد الكربون، حيث تتكون مركبات ثابتة أخرى. بالإضافة إلى توفير الأكسجين، فإن الهواء المضغوط يقوم بالخلط الجيد للكائنات الدقيقة مع مياه الصرف حيث يصعد إلى أعلى بسرعة فى شكل فقاعات على السطح من الناشرات. أحيانا، تستخدم خلاطات ميكانيكية بدافعات موجودة على سطح السائل بدلاً من الهواء المضغوط والناشرات (Diffusers). أداء الخفض أو الحركة المضطربة لأذرع الدافعات تقوم بخلط الهواء مع مياه الصرف وتحافظ على محتويات الحوض فى شكل عالق متجانس. الكائنات الحية الهوائية فى حوض التهوية تنمو وتتكاثر، مكونة عالق نشط من المواد الصلبة البيولوجية التى تسمى الحماة (Sludge) . مجموع الحماة المنشطة ومياه الصرف فى حوض التهوية يسمى السائل المخلوط (Mixed Liquor). فى النظام الأساسى للمعالجة بالحماة النشطة، زمن المكث حوالى ٦ ساعات يكون مطلوباً للتثبيت الجيد لمعظم المواد العضوية فى السائل المخلوط.

بعد حوالى ٦ ساعات من التهوية، فإن السائل المخلوط يتدفق إلى المروق الثانى أو النهائى، حيث فيه ترسب المواد الصلبة من الحماة العالقة بالجاذبية. المياه التى تم ترويقها والمياه الطافية قرب السطح والتى تسمى (Supernatent) يتم صرفها على هدار الخروج، والحماة المرسبة يتم ضخها إلى الخارج من قادوس تجميع الحماة عند قاع الحوض. تدوير جزء من الحماة ثانيا إلى مدخل حوض التهوية هو من الخواص الأساسية لعملية المعالجة

هذه. الحمأة المرسبة تكون فى حالة نشطة. بمعنى أن الميكروبات متأقلمة جيداً مع مياه الصرف ومعطاة الفرصة، لتمتص وتحلل مواد عضوية أكثر من خلال عملية الأيض لبناء خلايا جديدة (Metabolism).

عند ضخ حوالى ٣٠% من تدفقات مياه الصرف من قاع المروق إلى سطح حوض التهوية، فإن عملية الحمأة المنشطة يمكن المحافظة عليها باستمرار. عند الخلط مع السائل الأولى فإن الكائنات الدقيقة الجوعى تبدأ سريعاً فى الامتصاص وتـؤيض (Metabolize) الغذاء الطازج في شكل المواد العضوية المسببة للحمل العضوى (BOD). نظراً لأن الميكروبات تتكاثر ويزداد عددها كثيرا، فإنه ليس من الممكن تدوير أو عودة كل الحمأة إلى حوض التهوية. الحمأة الزائدة تسمى المخلفات من الحمأة المنشطة، يجب معالجتها والتخلص منها (مع الحمأة من حوض الترسيب الأولى).

نسبة الغذاء إلى الكائنات الحية الصغيرة : F/M Ratio

العامل الهام المستخدم فى تصميم وتشغيل عملية الحمأة المنشطة يعرف بالنسبة بين الغذاء والكائنات الصغيرة (Food To Microogranism Ratio) يقاس الغذاء بالكيلوجرامات (أو الأرطال) المضافة من الحمل العضوى (BOD) إلى الحوض فى اليوم. حيث أن المواد الصلبة العالقة فى السائل المخلوط تتكون غالبا من الكائنات الدقيقة الحية، فإن تركيز المواد الصلبة العالقة يستخدم كقياس لكمية الكائنات الحية الدقيقة فى الحوض. التركيز يسمى المواد الصلبة العالقة فى السائل المخلوط (Mixed Liquor Suspendid Solids) أو (MLSS).

نسبة الغذاء / الكائنات الدقيقة (F/M) هى مؤشر للحمل العضوى فى النظام بالنسبة لكمية المواد الصلبة البيولوجية فى الحوض. بالنسبة لأحواض التهوية التقليدية النسبة هى فى المجال من ٠,٢ إلى ٠,٥ يمكن حسابها من المعادلة الآتية :

$$F/M = \frac{Q \times BOD}{MLSS \times V}$$

حيث :

F/ M = النسبة بين الغذاء والكائنات الدقيقة، فى وحدات بالكيلوجرامات من BOD لكل كيلو جرام من (MLSS) فى اليوم.

Q = تدفقات مياه الصرف الصحى الخام، مليون لتر/ اليوم أو مليون جالون فى اليوم.

BOD = الحمل العضوى (5 day - BOD) المستخدم بالملجرام/ لتر (جزء فى المليون).

MLSS = المواد الصلبة العالقة فى السائل المخلوط، ملجرام/لتر.

V = حجم حوض التهوية مليون لتر (مليون جالون).

مثال :

حوض الحماة المنشطة بطول ٣٠متراً وعرض ١٠أمتار وعمق ٤أمتار. تدفق مياه الصرف هو ٤ مليون لتر فى اليوم والحمل العضوى BOD5 هو ٢٠٠ ملجرام/لتر. تركيزات المواد الصلبة العالقة فى السائل المخلوط (MLSS) هو ٢٠٠٠ ملجرام/لتر. أحسب نسبة الغذاء إلى الكائنات الدقيقة (F/M) للنظام.

الحل :

حوض التهوية للحمأة النشطة التقليدى تسبقه المعالجة الأولية. بفرض أن ٣٥% للحمل العضوى الخام أزيلت فى المروق الأولى، ٦٥% من الحمل العضوى سوف تستخدم فى حوض التهوية :

٠,٦٥ × ٢٠٠ = ١٣٠ ملجرام/ لتر.

حجم الحوض هو الطول × العرض × الارتفاع = ٣٠ × ١٠ × ٤= ١٢٠٠م٣ أو ١,٢ مليون لتر.

باستخدام معادلة $F/M = \frac{Q \times BOD}{MLSS \times V}$

$\therefore$ F/M = $\frac{١٣٠ \times ٤}{١,٢ \times ٢٠٠٠}$ = ٠,٢٢

مثال :

حوض تهوية تقليدى يعالج تدفق ٨٠٠٠٠٠ جالون فى اليوم من السائل الأولى به حمل عضوى ١٢٥ جزء فى المليون. تركيز المواد الصلبة العالقة فى السائل المخلوط (MLSS) هو للمحافظة عليه عند ١٨٠٠ جزء فى المليون ونسبة الغذاء إلى الكائنات

الدقيقة موصفة عند ٠,٤ .أحسب الحجم المطلوب لحوض التهوية. إذا كان العمق الجانبي للماء ١٥ قدم وأن طول الحوض يجب أن يكون ثلاثة أضعاف العرض، ما هو الطول الذى سيكون للحوض؟

الحل :

إعادة تنظيم المعادلة $F/M = \frac{BOD \times Q}{MLSS \times V}$

لتكون $V = \frac{BOD \times Q}{MLSS \times F/M}$

= (١٢٥ × ٠,٨) / (٠,٤ × ١٨٠٠) = ٠,١٣٩ مليون جالون = ١٤٠٠٠٠ جالون

و ١٤٠٠٠٠ جالون × (١ قدم مكعب / ٧,٥ جالون) = ١٨٥٠٠ قدم مربع

حيث أن الحجم = الطول × العرض × العمق وحيث أن الطول ثلاثة أضعاف العرض أو 3W = L

∴ الحجم = 3W × W × العمق = ٣ × W^2 × العمق.

∴ عرض الحوض W = (١٨٥٠٠ قدم مربع)½ / (٣ × ١٥ قدم) = ٢٠ قدم

الطول = ٣ × ٢٠ = ٦٠ قدم

ترسيب الحمأة : (Sludge Settling)

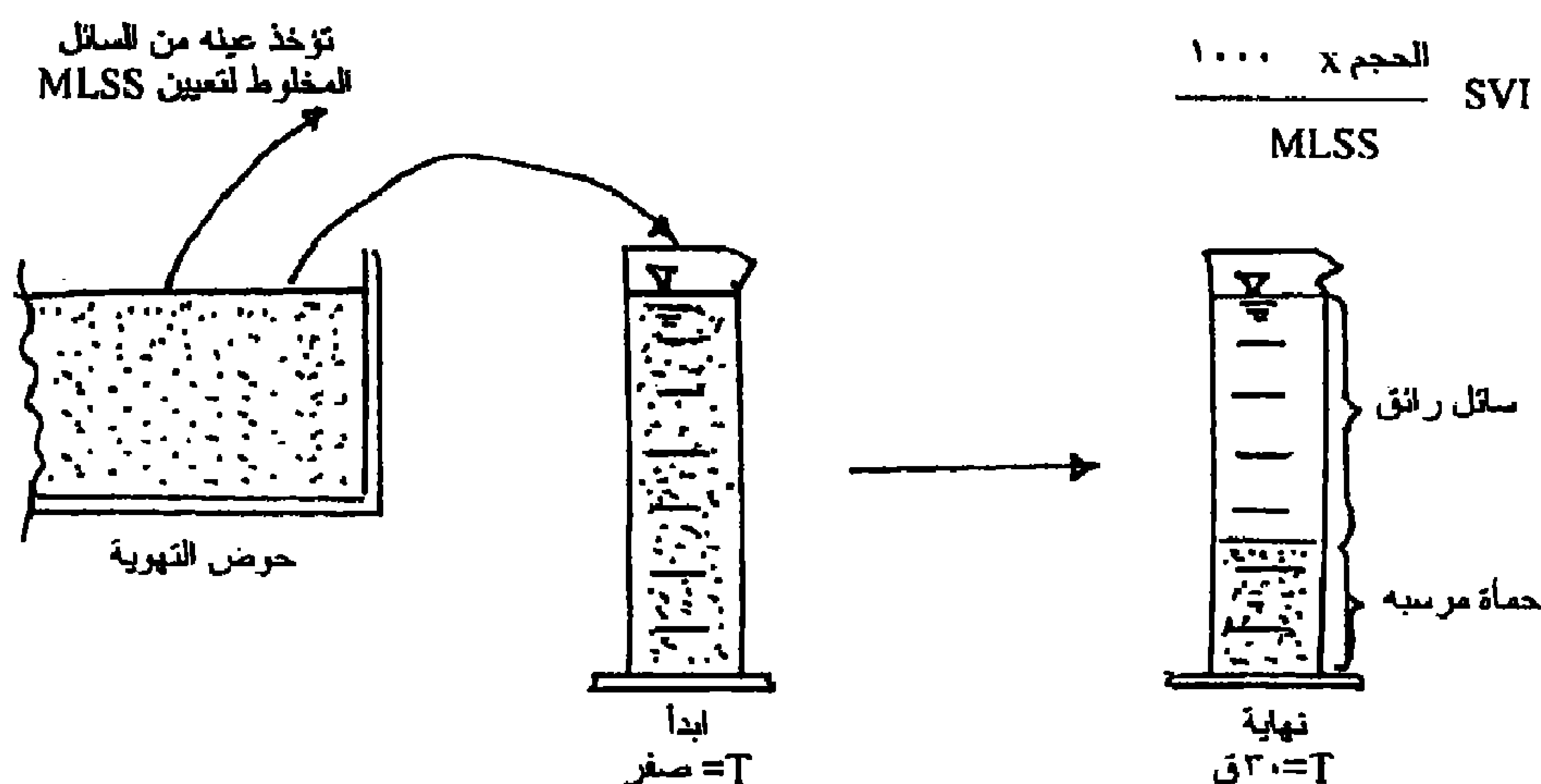
فى عملية الحمأة المنشطة يتم امتصاص الملوثات العضوية بواسطة الملايين من الكائنات الحية الصغيرة فى حوض التهوية. هذه الكائنات الدقيقة هى أساساً الحمأة المنشطة. ولكن بدون ترويق جيد أو فصل الحمأة من جزء السائل للسائل المخلوط، فإن عملية المعالجة سوف لا تكون ذات كفاءة مطلقاً. لهذا السبب، فإن الترسيب بالجاذبية فى المروق الثانى هو أهم جزء فى عملية المعالجة بالحمأة المنشطة. فى حالة عدم الترسيب

للحماة بالسرعة الكافية فإن بعضاً منها سوف يحمل فوق هدارات المخرج للمروق مسبباً تلوثاً للمسطح المائي.

فى حالات معينة فى محطة معالجة مياه الصرف الصحى بالحماة المنشطة فإنه تنمو البكتريا الخيطية أو الشعرية عادة من نوع (Sphaerotilusnatans) فى حوض التهويـــة، حيث تصبح الحماة خفيفة وذات زغبات. الحماة ذات النمو الزائد من هذه البكتريا ترسب ببطء شديد، حيث فى هذه الحالة لا يتكون سائل رائق فى المروق الثانى. كثيراً من الحماة تتدفق إلى الخارج مع المياه الخارجة. هذه الحالة تسمى انتفاخ الحماة (Sludge Bulking). يمكن التحكم فى انتفاخ الحماة بضبط تركيزات MLSS، نسبة F/M، وهذا يتم بتنظيم معدل عودة الحماة من المروق. كمية التهوية يمكن كذلك أن تكون عاملاً، حيث انتفاخ الحمـــاة يمكن أن يكون بسبب التهوية الكثيرة جداً. أحيانا، ضبط الرقم الهيدروجينى (pH) للسائل المخلوط يمكن أن يحل هذه المشكلة.

الرقم الذى يسمى مؤشر حجم الحماة (Sludge Volume Index - SVI) يستخدم لتقييم استعداد الحماة للترسيب (Settleability). هو يساوى الحجم الذى يشغله جرام واحد مـــن الحماة المرسبة معبراً عنها بوحدات السنتيمتر المكعب فى الجرام.

تعيين مؤشر حجم الحماة يشمل أخذ عينة من السائل المخلوط من حوض التهوية ثم تركهـــا لترسب لمدة ٣٠ دقيقة فى أنبوبة زجاجية مدرجة. وهذا موضح فى الشكل (٦/٦)، يـــتم قـــراءة حجم الحماة من العلامات. كذلك يتم قياس المواد الصلبة العالقة فى السائل المخلوط (MLSS)



شكل (٦/٦) مخطط لتوضيح الاختبار المعملى لتعيين مؤشر حجم الحماة (SVI) المستخدم فى تعيين خواص ترسيب الحماة

تستخدم المعادلة لتقدير مؤشر حجم الحماة (SVI)

$$SVI = \frac{1000 \times V}{MLSS}$$

حيث :

SVI = مؤشر حجم الحماة سم٣/جرام.

V = حجم الحماة المرسبة، سم٣/لتر.

MLSS = المواد الصلبة العالقة فى السائل المخلوط ملجرام/لتر.

مثال :

حوض تهوية له (MLSS) بتركيز ٢٠٠٠ ملجرام/لتر. بعد الترسيب لمدة ٣٠ دقيقة فى مخبار مدرج سعة واحد لتر، تم قياس حجم الحماة إلى ١٥٠سم٣، أحسب مؤشر حجم الحماة (SVI).

باستخدام المعادلة فإن SVI = (١٥٠سم٣/لتر × ١٠٠٠) / (٢٠٠٠ ملجرام/لتر) = ٧٥سم٣/جرام

الحمأة العادية ذات خواص ترسيب جيدة عموماً لها مؤشر حجم حماة أقل من ١٠٠. مع زيادة المؤشر أكثر من ١٠٠، فإن قدرة الحماة على الترسيب تقل وبعض من المواد الصلبة تحمل فوق هدار الخروج للمروق. الحماة ذات الانتفاخ الكبير لها قيم مؤشرات حجم الحماة أكبر من ٢٠٠. الارتفاع العالى لمؤشر حجم الحماة هو مؤشر لعامل تشغيل المحطة أن معدل العودة للحماة يجب أن يزداد، وأن معدل التهوية يجب أن ينخفض، أو أى عمليات ضبط أخرى يجب عملها. أحيانا يضاف الكلور إلى حوض التهوية لتدمير الكائنات الشعرية ولكن هذه الطريقة هى آخر ما يتم اللجوء إليه لحل المشكلة.

عموماً نظام المعالجة بالحماة المنشطة الذى يتم تشغيله بكفاءة يمكن أن يزيل حوالى ٩٠% من الحمل العضوى (BOD) ومن المواد الصلبة العالقة وأحيانا قد تصل هذه النسبة إلى ٩٥%. مقارنة إلى النظام البسيط للمعالجة بالمرشحات الزلطية فإن نظام المعالجة

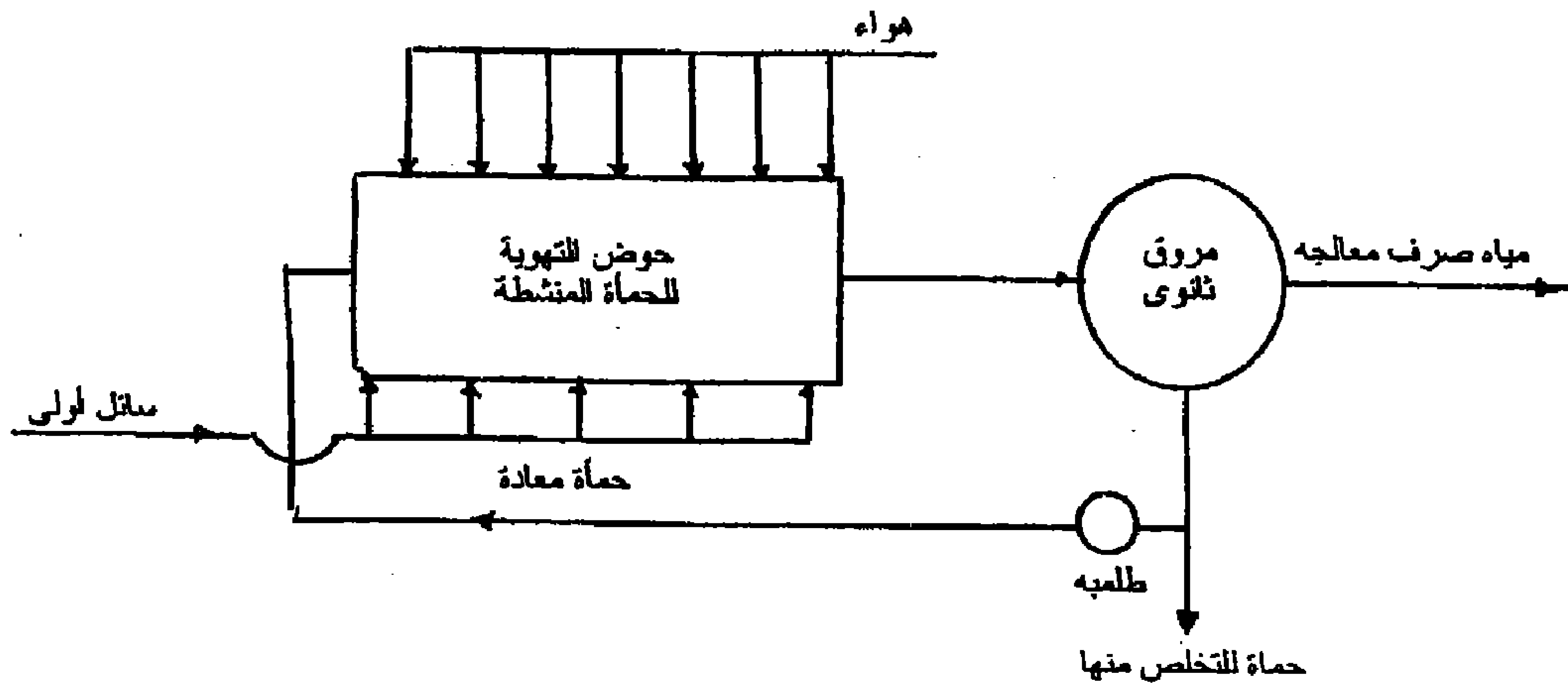
بالحمأة المنشطة يتطلب الحرص فى التحكم فى عملية التشغيل. متطلبات الطاقة فى محطة معالجة الصرف الصحى بالحمأة المنشطة هى كذلك مرتفعة بسبب الطاقة المستخدمة فى التهوية.

التعديلات لعملية الحمأة المنشطة :

تم تطوير العديد من التعديلات على عملية الحمأة المنشطة التقليدية وهذه بهدف زيادة كفاءة محطة المعالجة أو لخفض متطلبات حجم الحوض.

التهوية على خطوات : (Step Aeration)

عمليات التهوية على خطوات تتم من خلال عديد من نقط التغذية لسائل الصرف الأولى فى حوض التهوية، كما هو موضح فى الشكل (٦/٧). بإدخال المواد العضوية فى الحوض فى خطوات بمقادير وليس مرة واحدة على رأس الحوض، فإن مطالب الأكسجين تتوزع بانتظام على طول الحوض. بهذه الطريقة، يمكن الحصول على طاقة أكبر للمعالجة لحجم معين لحوض التهوية أفضل من ما يتم تحقيقه باستخدام الطريقة التقليدية.



شكل (٦/٧) مخطط للتهوية المتدرجة للمعالجة بالحمأة المنشطة

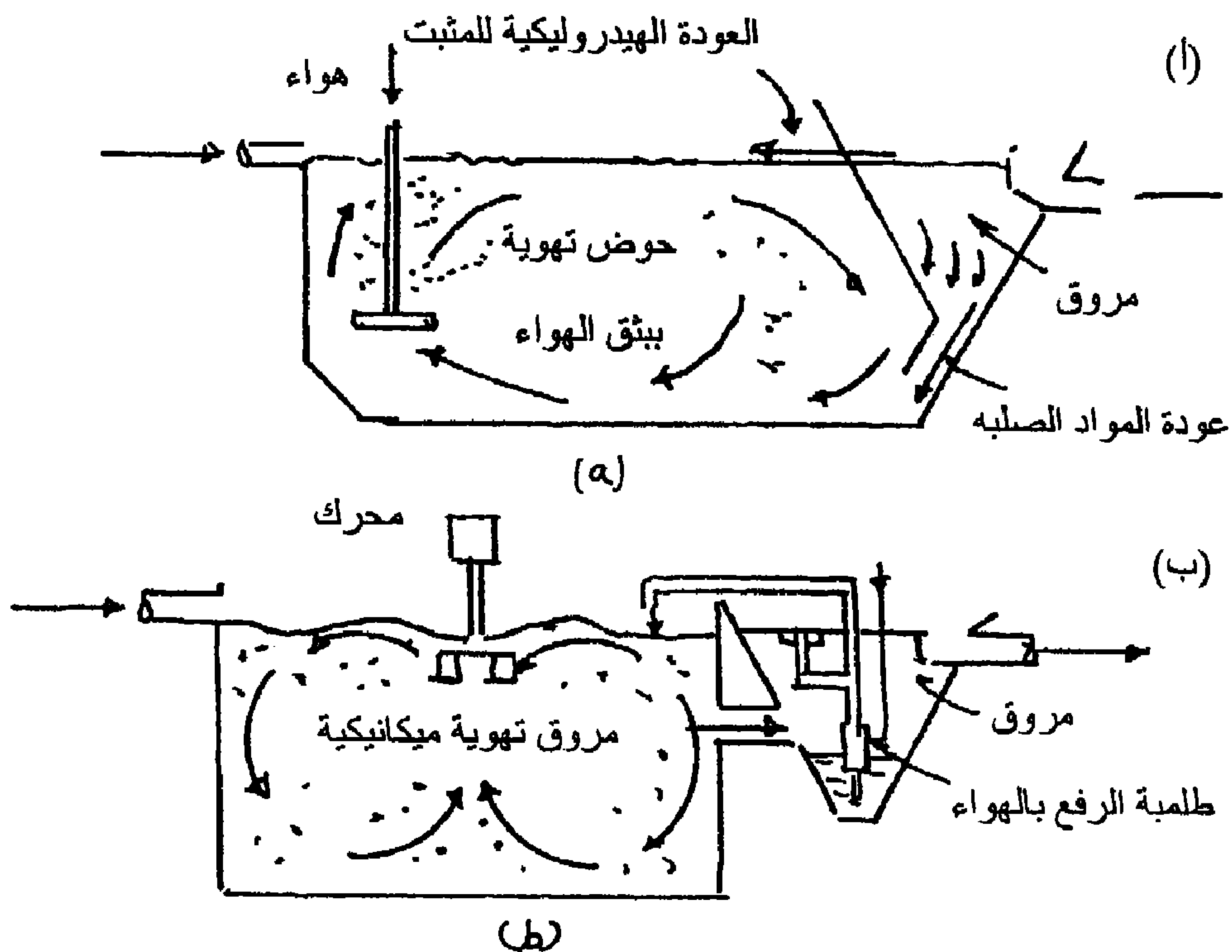
التهوية الممتدة (Extended Aeration)

لمعالجة التدفقات الصغيرة من مياه الصرف الصحى من التجمعات السكانية مثل الفنادق والمدارس، ومصادر الصرف الصحى الأخرى المعزولة نسبياً فإنه تستخدم عادة طريقة التهوية الممتدة للمعالجة. هذه النظم الصغيرة تكون عادة فى شكل أحواض من الصلب مثقبة وتسمى المحطات الصندوقية (Package Plants). الأحواض التقليدية تصنع

عادة من الخرسانة المسلحة. فى نظام التهوية الممتدة يكون كلا من حوض التهوية والمروق الثنائى فى وحدة واحدة كما هو موضح فى الشكل (٦/٨).

يوجد اختلافين واضحين بين نظام التهوية الممتدة والنظام التقليدى، أولاً مياه الصرف الصحى التى تم مرورها خلال المصافى وأجهزة التقطيع يتم توجيهها مباشرة إلى حوض التهوية الممتدة بدون أى معالجة أولية. ثانياً زمن المكث أو زمن التهوية هو حوالى ٣٠ ساعة بينما فى النظام التقليدى حوالى ٦ ساعات.

الفرق الآخر هو أن عملية التهوية الممتدة تعمل بنسبة الغذاء إلى الكائنات الدقيقة (F/M) منخفضة حتى ٠,٠٥ وهذا يعنى أن هناك كمية كبيرة من الكائنات الدقيقة مقارنة لكمية الغذاء (المواد العضوية).نسبة الغذاء إلى الكائنات الدقيقة المنخفضة وكذلك الفترة الزمنية الممتدة للتهوية تسمح بتثبيت معظم المواد العضوية فى مياه الصرف. ولكن أخيراً يلزم إزالة بعض الحمأة من حوض التهوية والتخلص منها.



شكل (٦/٨) مخطط لمحطة المعالجة بالتهوية الممتدة.

(أ) البثق بالهواء ومروق القاع المثبت لعودة الحمأة.

(ب) تهوية ميكانيكية مع طلمبة الرفع الهوائى لعودة الحمأة.

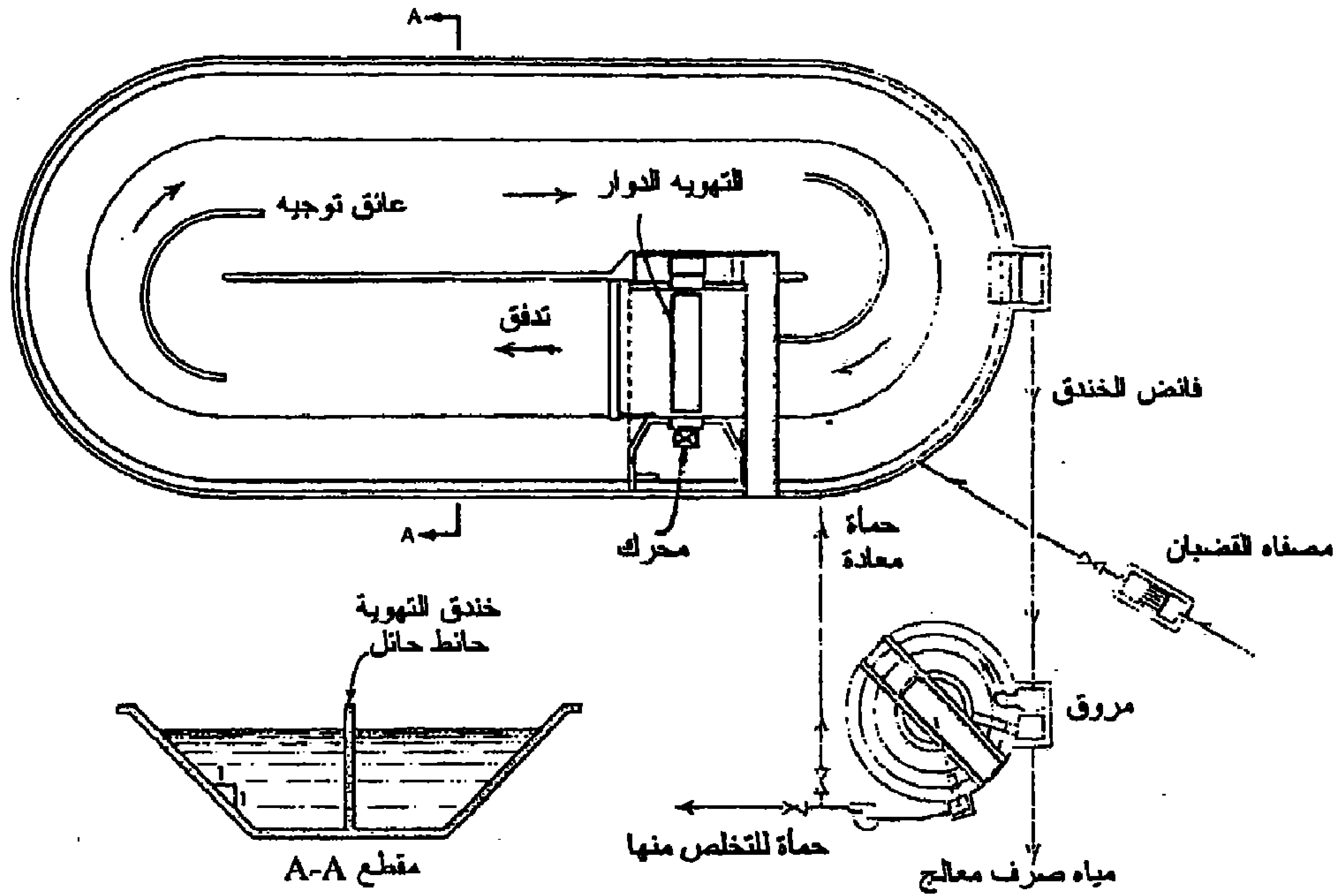
التهوية الميكانيكية : (Mechanical Aeration)

نظم التهوية الميكانيكية التى تستخدم أحواض بيضاوية الشكل وهوايات أفقية ذات الفرش الدوارة، تحقق كفاءة وسهولة فى التشغيل. تلك الأحواض المبطنة بالخرسانة والتى تسمى خنادق الأكسدة (Oxidation Ditches) تكون بعمق ما بين ١,٢ إلى ١,٨ متر. وحدة التهوية الأفقية تعمل كعجلة أو دولاب التجديف (Paddle Wheel)، حيث يدفع مياه الصرف حوله فى القناة بسرعة كافية لمنع ترسيب المواد الصلبة. أكسجين الهواء الجوى يتم انتقاله خلال السطح الحر للسائل. معظم قنوات الأكسدة تعمل عادة مثل نظم التهوية الممتدة، حيث أوقات التهوية أكثر من ١٢ ساعة. مخطط لنموذج خندق الأكسدة موضح فى الشكل (٦/٩).

تلامس التثبيت والاستقرار : (Contact Stabilization)

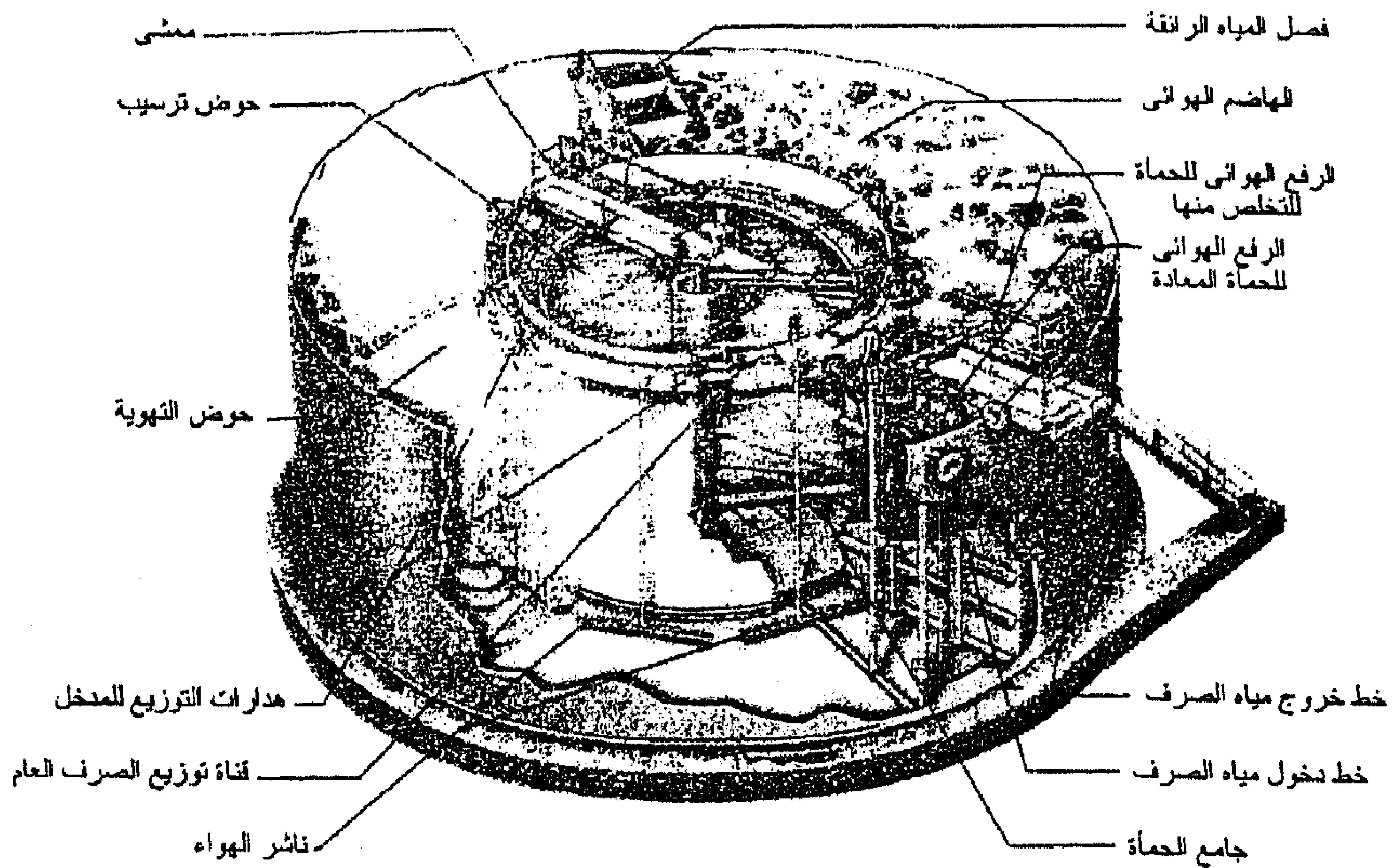
فى أحد الأشكال المطورة الأخرى لعملية الحمأة المنشطة، يتم خلط مياه الصرف الصحى وتهويتها مع الحمأة المنشطة المعادة لمدة حوالى ٣٠ دقيقة فقط، هذه العملية تسمى تلامس التثبيت. زمن التلامس القصير لمدة ٣٠ دقيقة يكون كافيا لتمتص الكائنات الحية الصغيرة الملوثات العضوية، ولكن ليس لتثبيتها واستقرارها.

بعد زمن التلامس، يدخل السائل المخلوط إلى المروق حيث ترسب الحمأة المنشطة، وتتدفق مياه الصرف الرائقة فوق هدارات الخروج. يتم ضخ الحمأة المرسبة إلى حوض تهوية آخر، يسمى حوض إعادة التهوية أو التثبيت والاستقرار. محتويات حوض التثبيت يتم تهويتها لمدة حوالى ثلاث ساعات، حيث يمكن للكائنات الدقيقة أن تقوم بتحلل المواد العضوية الممتصة. الحجم الإجمالى لحوض التثبيت يكون عموماً أقل من ذلك للمحطة التقليدية، ذلك لأن حجم الحمأة المنشطة التى يتم تثبيتها فى حوض إعادة التهوية يكون أقل كثيراً من إجمالى تدفقات مياه الصرف. مخطط لتدفق تلامس التثبيت موضح فى الشكل (٦/٩).



شكل (٦/٩) مخطط لخندق التهوية

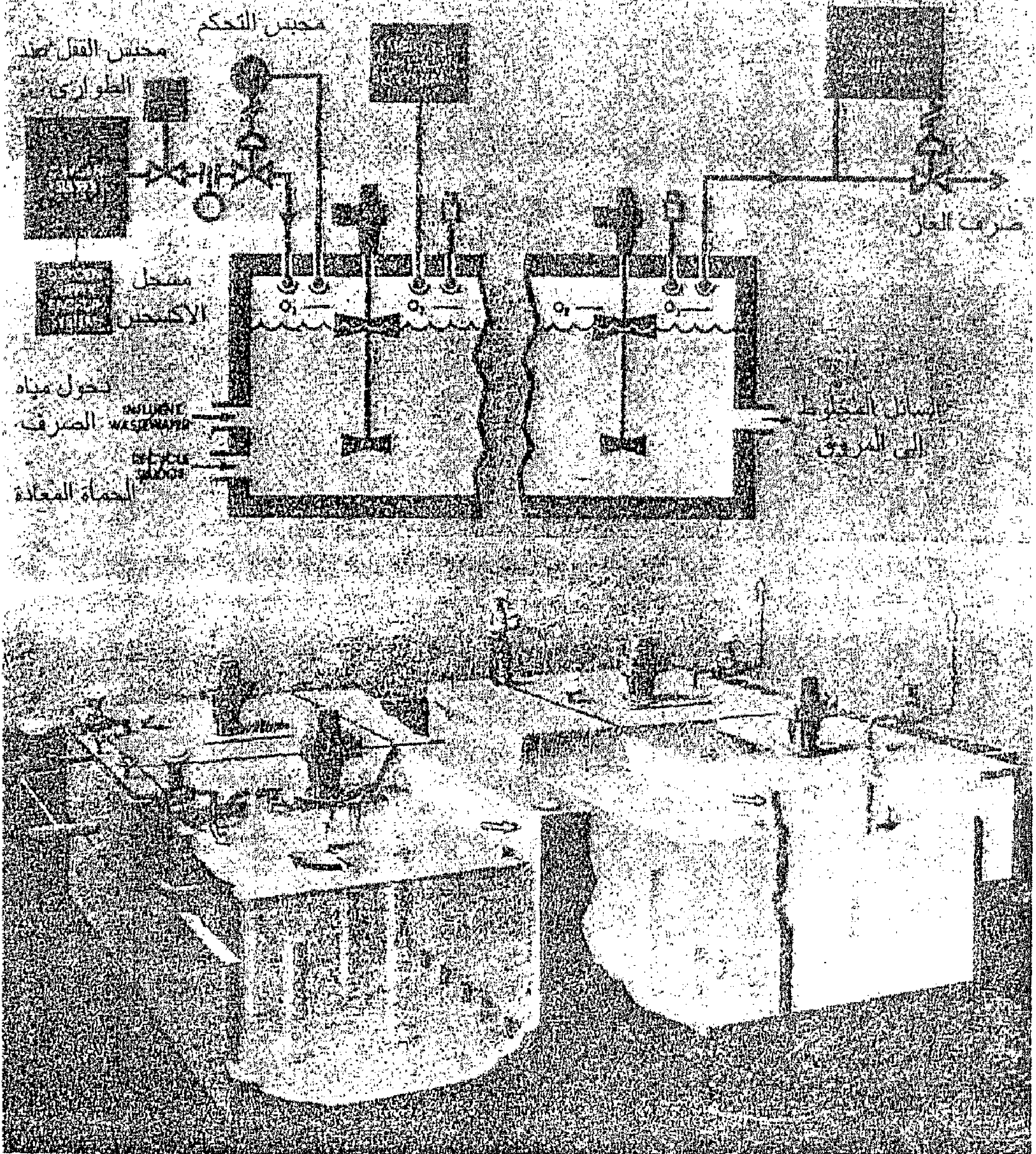
يتكون ملامس التثبيت من حوض دائرى من الصلب، بداخله حوض لتوفير منطقة الترويق. الحجم المحيطى ما بين الحوض الداخلى وجدار الحوض الخارجي يوفر مساحة أو منطقة للتلامس، إعادة التهوية، وتخزين الحمأة. عادة تستخدم طلمبة الرفع الهوائى للحمأة لنقل الحمأة بين مناطق الحوض، مع قليل من التطوير لنظم المواسير ونظم الإعاقة (Baffling)، يمكن لنظام ملامس التثبيت العمل بطريقة التهوية على الخطوات المرحلية أو بالتهوية الممتدة. وحدة معالجة الصرف الصحى الدائرية موضحة فى الشكل (٦/١٠).



شكل (٦/١٠) محطة معالجة الصرف الصحى من الصلب المثقب بأقطار حتى ٣٠متر ويمكن استخدامها فى التهوية على مراحل أو الالتصاق والتثبيت لطريقة التهوية الممتدة للمعالجة

التهوية بالأكسجين النقى : (Pure Oxygen Aeration)

الهواء به ٢١% فقط من الأكسجين. بدلاً من استخدام الهواء، يمكن زيادة طاقة المعالجة بحقن الأكسجين عالى النقاء فى السائل (Mixed Liquor) لمحطة معالجة مياه الصرف بالحمأة المنشطة. نظام التهوية بالأكسجين عالى النقاء موضح فى الشكل (٦/١١) يتم تصنيع الأكسجين فى موقع المحطة. يتم إدخال السائل الأولى، الحمأة المنشطة المعادة، والأكسجين إلى الغرفة الأولى للحوض المغطى متعدد الحجرات. التقليب الميكانيكى يخلط الأكسجين مع مياه الصرف مع تدفقاتها خلال الحوض. الزمن الكلى للتهوية هو فقط ٢ ساعة، ونسبة الغذاء إلى البكتريا (F/M) تكون مرتفعة حتى ١,٥ وبالتالى فإن حجم حوض التهوية يكون أقل كثيراً عن المطلوب للنظام التقليدى.

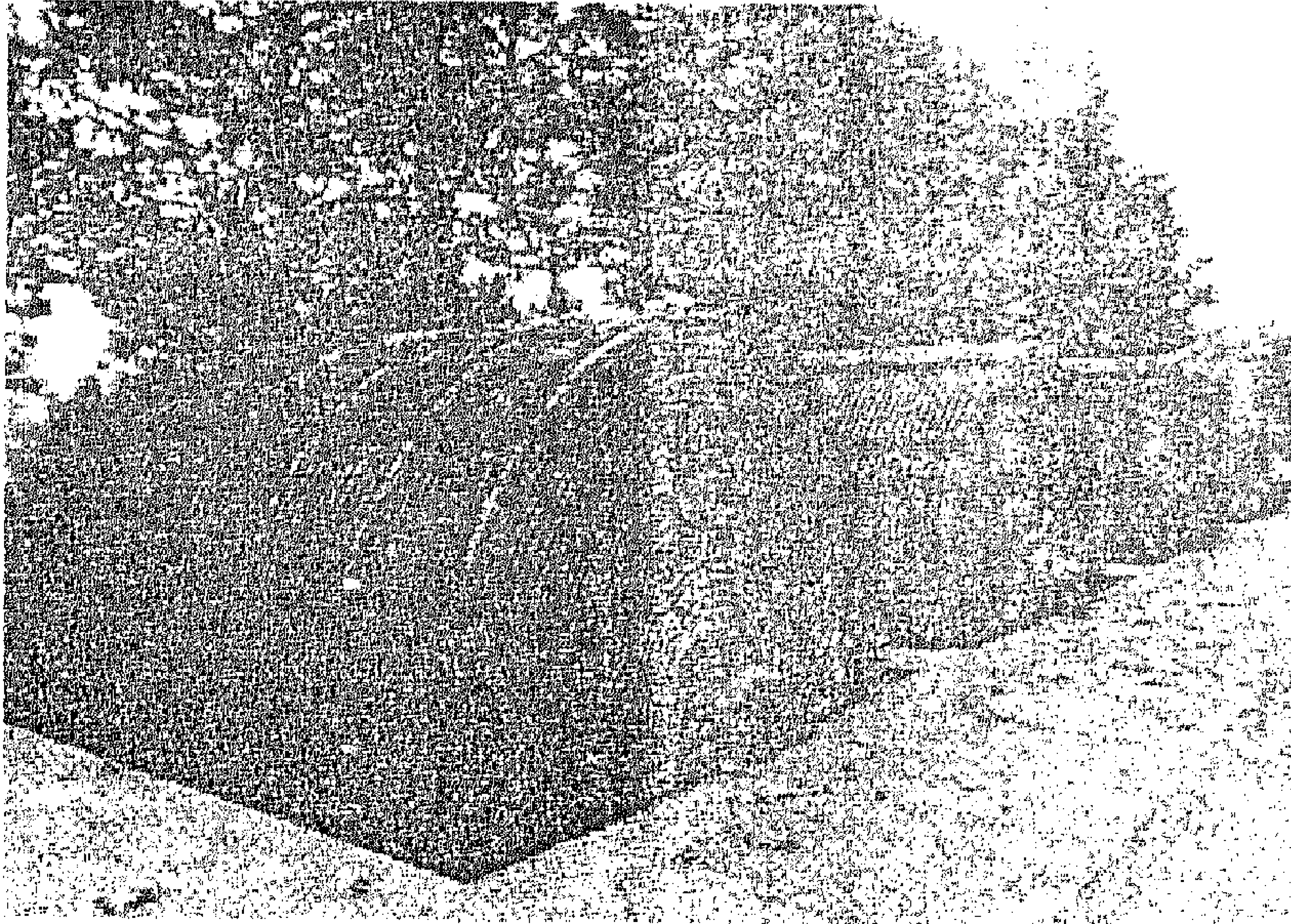


شكل (٦/١١) يمكن استخدام الأكسجين النقى فى معالجة مياه الصرف بطريقة الحمأة المنشطة، الأحواض تكون مغطاة للمحافظة على الأكسجين الذى يتم إنتاجه فى الموقع.

عمليات معالجة ثنائية أخرى :

وحدة المعالجة البيولوجية التى استخدمت فى أوربا وأصبحت مقبولة فـــى الولايـــات المتحدة هى القرص البيولوجى (Biodisc) أو الملامس البيولـــوجى الـــدوار (Rotating

Biological Contactor) وهو يتكون من عدة أقراص من البلاستيك مركبة على عـامود إدارة أفقى. الأقراص خفيفة الوزن هى بقطر حوالى ٣متر، وبفواصل حوالى ٤سم علـى عامود الإدارة. نموذج لوحدة الأقراص موضح فى الشكل (٦/١٢). الأقراص يتم غمرها جزئيا فى مياه الصرف المرسبة (السائل الأولى). مع دوران عامود الإدارة فإن أسـطح القرص تكون ملتصقة ما بين الهواء ومياه الصرف بالتبادل. وبالتالى فإنه تنمو طبقة من الكتلة البيولوجية (Slime) على كل قرص، والميكروبات الملتصقة التى تكـون الطبقـة تمتص المادة العضوية فى مياه الصرف. هذه العملية تشبه نظام المرشح الزلطى، عدا أن نمو الكائنات الملتصقة يمر خلال مياه الصرف وليس من خلال رش مياه الصرف فـوق الكائنات الدقيقة.



شكل (٦/١٢) سلسلة من الملامسات البيولوجية الدوارة أو الأقراص البيولوجية للمعالجة الثنائية لمياه الصرف الصحى.

سرعة الدوران وعدد الأقراص يمكن أن يتغير للحصول على مستويات محددة لإزالة الملوثات. مع عديد من مراحل الأقراص، يمكن إزالة كلا من الحمل العـضوى (BOD) النيتروجينى والكربونى. ذلك لأن نمو بكتريا النترجة (Nitrifying Bacteria) يكون كثيراً فى تركيز الكائنات على المراحل الأخيرة للقرص.

فى نظام القرص البيولوجى، لا توجد حاجة لتدوير الحمأة، ولكن يلزم مروق ثنـائى لترسيب المواد البيولوجية الصلبة الزائدة التى تنفصل عن القرص مع زيادة سمك الطبقة

البيولوجية. كما فى حالة المرشح الزلطى، فإن كفاءة المرشح الزلطى تتأثر بشدة عند درجات الحرارة المنخفضة. ذلك لأن معدل الأيض (تحويل الغذاء والطاقة إلى خلايا) (Metalolism) للميكروبات يقل عند انخفاض درجة الحرارة.

فى المناطق حيث المساحات من الأرض متاحة فإنه يمكن استخدام البحيرات الضحلة للصرف الصحى (Sewage Lagoons) فى المعالجة الثانئية. وهى تسمى كذلك برك الأكسدة أو التثبيت (Oxidation Ponds). النوع المستخدم عادة من البرك لمعالجة الصرف الصحى هو البركة الاختيارية (Facultative Pond). فى البركة الاختيارية والتى هى عموماً بعمق ٢متر تحدث كلا من التفاعلات الهوائية واللاهوائية، كما هو موضح فى الشكل (٦/١٣).

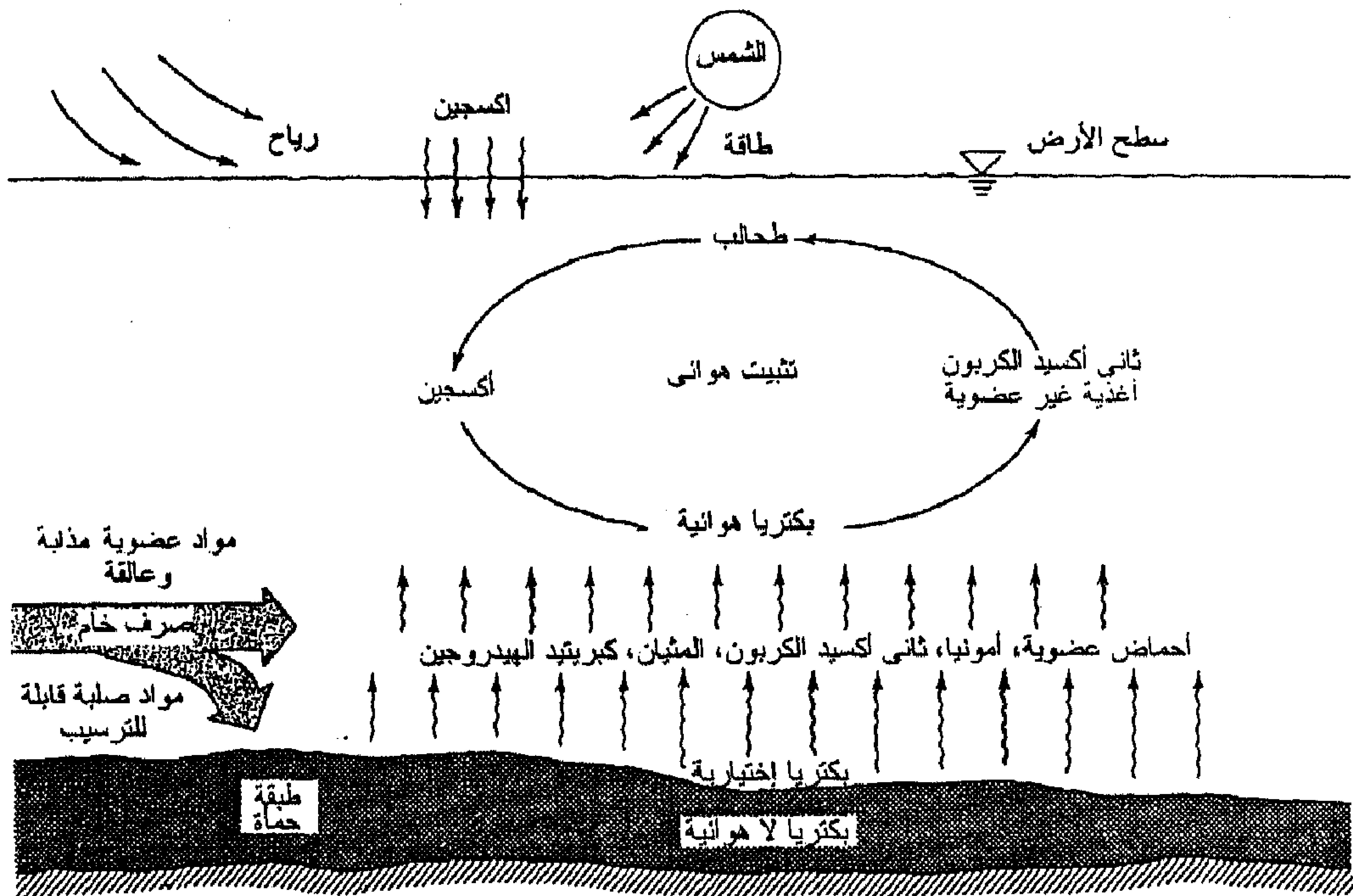
تدخل مياه الصرف الصحى الخام إلى البركة، بدون الحاجة إلى المعالجة الأولية، المواد العضوية الصلبة التى ترسب فى القاع تتحلل لاهوائياً منتجة نواتج التحلل مثل الميثان، كبريتيد الهيدروجين والأحماض العضوية. فى السائل فوق منطقة الحمأة فى بركة الأكسدة فإن المواد العضوية القادمة ونواتج التحلل اللاهوائى يتم تثبيتها بواسطة البكتريا المختلطة وكذلك بواسطة الكائنات الدقيقة الهوائية. البكتريا المختلطة يمكن أن تنمو فى أى من البيئة الهوائية أو اللاهوائية، متوسط الفترة الزمنية لمكث مياه الصرف الصحى فى البركة المختلطة يمكن أن يكون ٦٠ يوم أو أكثر.

يضاف الأكسجين إلى مياه الصرف فى البركة بفعل الرياح والخلط عند السطح وكذلك أثناء التمثيل الضوئى للطحالب فى ضوء النهار. هذا الأكسجين يساعد على التفاعلات الهوائية. العلاقة التبادلية المستقلة بين الطحالب والبكتريا فى بركة الأكسدة ذات أهمية كبيرة. باستخدام الطاقة من أشعة الشمس، فإن الطحالب تنمو وتتكاثر بامتصاص ثانى أكسيد الكربون وبعض المواد الغير عضوية الأخرى التى تنطلق من البكتريا. البكتريا تستخدم كلا من الأكسجين الذى تطلقه الطحالب والمواد العضوية من مياه الصرف.

رغم أن الطحالب تقوم بدور هام فى عملية التنقية فى قنوات الصرف الصحى، فأنها يمكن أن تسبب مشكلة كذلك. فعند حمل هذه النباتات الميكروسكوبية خارج بركة الأكسدة فى تدفقات الصرف المعالج، فإن المستويات المسموح بها بالنسبة لإجمالى المواد الصلبة العالقة (TSS) تكون عادة زائدة. هذه المشكلة يمكن أن تكون حادة خاصة فى شهور

الصيف الحارة. أحياناً باستخدام بركتين أو أكثر على التوالى مع التحكم الحذر فى تدفقات المياه الخارجة (المعالجة) فإنه يمكن التخلص من حمل المياه للطحالب.

رغم الصعوبة الحادة بالنسبة لكفاءة إزالة المواد الصلبة العالقة، فإن بحيرات الصرف الصحى الضحلة تستخدم حيث المساحات من الأرض تكون متاحة. تكاليف الإنشاء المنخفضة، سهولة التشغيل والصيانة، والاستهلاك للطاقة الشبه مهمل يوفر مميزات كبيرة لنظام المعالجة الطبيعية هذا.



شكل (٦/١٣) مخطط للتفاعلات البيولوجية المعقدة التى تحدث فى حوض أو خندق التثبيت لمياه الصرف.

تطهير مياه الصرف المعالجة : (Secondary Effluent Disinfection)

العملية الأخيرة فى المعالجة الثنائية لمياه الصرف الصحى هى عملية التطهير (Disinfection). الغرض من تطهير مياه الصرف الصحى هو قتل الكائنات الحية الدقيقة المسببة للأمراض الوبائية (Pathogens) والتى يمكن أن تبقى حية (Survive) بعد عملية المعالجة الثنائية وبذا يمكن حماية الصحة العامة. (إزالة الحمل العضوى BOD والمواد الصلبة العالقة تفيد فقط فى حماية البيئة المائية). تطهير مياه الصرف يعتبر هاماً وأساساً

فى حالة صرف مياه الصرف الصحى المعالج فى مسطح مائى يستخدم للاستجمام والسباحة أو فى إمدادات مياه الشرب للمجتمعات تحت التيار.

مثل مياه الشرب فإن تطهير مياه الصرف الصحى يتم عادة باستخدام الكلور. الكلور المطلوب لمياه الصرف يكون مرتفعاً نسبياً عند المقارنة للمطلوب فى مياه الشرب. يلزم جرعة كلور حوالى ١٠ ملجرام/لتر لترك كلور متحد متبقى ٠,٥ ملجرام/لتر فى مياه الصرف بعد المعالجة الثنائية.

يستخدم حوض منفصل لتحقيق الالتصاق بالكلور، مجهز بعوائق لمنع قصر المسافة للتدفق (ShortCircuit)، وذلك لتأكيد ما لا يقل عن ١٥ دقيقة زمن التصاق بين مياه الصرف الصحى والكلور. رغم أن وجود الكلور المتبقى هو علامة للتطهير المؤثر، إلا أنه يلزم عمل اختبارات إضافية وتحديداً البيولوجية (حيث المسموح به هو أقصى تركيز من الكوليفورم الغائطى ٢٠٠ فى كل ١٠٠سم٣ من مياه الصرف. الكلورة الزائدة لمياه الصرف يمكن أن يكون لها مردود بيئى سيئ. التركيز العالى من الكلور قريباً من مواسير صرف مياه الصرف يمكن أن يقتل الأسماك والكائنات المائية. لذلك يلزم التحكم فى جرعة الكلور لتجنب الفقد فى الكلور وحماية البيئة المائية.

فى بعض الحالات يكون من الضرورى إزالة الكلور (Dechlorination) المتبقى من مياه الصرف لحماية الكائنات المائية. وذلك باستخدام عامل إختزال مثل (SO_3)

٤- المعالجة الثلاثية (أو المتقدمة) : (Tertiary (Advanced) Treatment)

المعالجة الثنائية يمكنها إزالة من ٨٥ - ٩٥% من الحمل العضوى والمواد الصلبة العالقة من مياه الصرف الصحى، عموماً، يكون الذى تم تركه فى مياه الصرف هو حوالى ٣٠ملجرام/لتر من الحمل العضوى والمواد الصلبة فى مياه الصرف بعد المعالجة الثنائية. ولكن أحياناً يكون هذا المستوى من المعالجة الثنائية ليس كافياً لحماية البيئة المائية. فمثلاً، فترة المعدل المنخفض للتدفقات التى تحدث من آن إلى آخر فى المجرى المائى حيث نوع من الأسماك (السلمون) يمكن أن لا يوفر كمية التخفيف لمياه الصرف اللازمة لأدنى مستوى من الأكسجين لحياة الأسماك.

محدد آخر للمعالجة الثنائية حيث أنها لا تقلل تركيز النيتروجين والفوسفور فى مياه الصرف المعالج. النيتروجين والفوسفور مواد غذاء هامة للنبات. فى حالة صرفها على البحيرة فإنه يمكن حدوث سحابات من الطحالب، مع فرط النماء الطحلبى وتعفنه (Eutriphication) وتعجيل شيخوخة (Aging) البحيرة. كذلك فإن النيتروجين فى مياه

الصرف الصحي يمكن أن يكون غالباً في شكل مركبات الأمونيا. هذه المركبات سامة للأسماك في حالة تركيزاتها المرتفعة. مشكلة أخرى مع الأمونيا هي أنها تفرز مطالب أكسجين نيتروجينية في المياه المستقبلة نظراً لأنها تتحول إلى النترات. هذه العملية تسمى النترجة (Nitrification). يلزم عمل معالجة إضافية أو متقدمة عندما يكون المطلوب إزالة ملوثات أكثر من تلك التي تم إزالتها بالمعالجة الثنائية إما لخفض تركيزات الأحمال العضوية والمواد الصلبة العالقة أو لإزالة مواد غذاء النبات. هذه المعالجة الإضافية تسمى المعالجة الثلاثية. ذلك لأن كثيراً من العمليات الإضافية تلي عمليات المعالجة الأولية والثنائية على التوالي. المعالجة الثلاثية لمياه الصرف الصحي يمكن أن تزيل أكثر من ٩٩% من الملوثات من الصرف الصحي الخام ويمكن أن تنتج مياه ذات نوعية مثل مياه الشرب. ولكن تكاليف المعالجة الثلاثية بالنسبة للتشغيل والصيانة وكذلك بالنسبة للإنشاء مرتفعة جداً، أحياناً ضعف تكلفة المعالجة الثنائية. وعموماً استخدام أحد أشكال المعالجة الثلاثية ليس مألوفاً ذلك لأن النسبة بين الفائدة والتكاليف لا تبرر استخدامها.

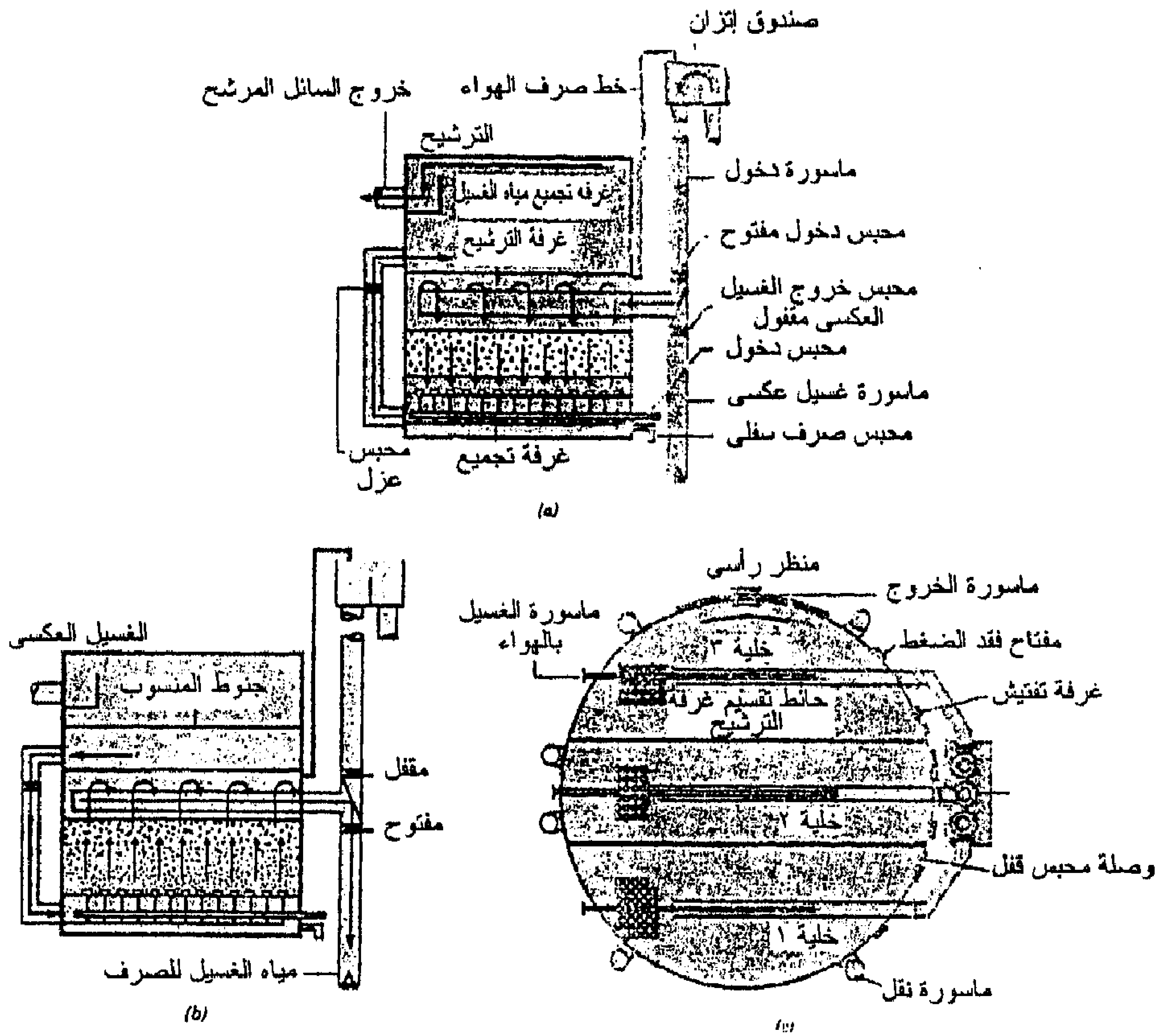
تلميع مياه الصرف المعالج: (Effluent Polishing)

الإزالة الإضافية للحمل العضوي والمواد العالقة من مياه الصرف بعد المعالجة الثنائية تسمى أحياناً التلميع لمياه الصرف المعالجة. وهذه يتم تنفيذها عادة باستخدام وسط ترشيحي حبيبي يشبه المرشح المستخدم في تنقية مياه الشرب. نظراً لأن المواد الصلبة العالقة تتكون في معظمها من مركبات عضوية، فإن الترشيح يزيل الحمل العضوي وكذلك المواد الصلبة العالقة.

تستخدم المرشحات ذات الوسط الترشيحي المختلط للحصول على الترشيح العميق لمياه الصرف. بسبب وجود المواد العضوية والمواد الصلبة العالقة ذات صفة التحلل البيولوجي في مياه الصرف الثنائي، فإن المرشحات الثنائية يجب عمل الغسيل العكسي لها من آن إلى آخر، وإلا فإن التحلل يمكن أن يسبب حالة لا هوائية أو عفوفه في طبقة المرشح. بالإضافة إلى الدورة التقليدية للغسيل العكسي فإنه يستخدم غسيل إضافي سطحي بالهواء لعمل النظافة الجيدة للوسط الترشيحي. الترشيح يمكن أن يتم بالجاذبية في مرشحات مفتوحة أو بالضغط في مرشحات ضغط مقفلة.

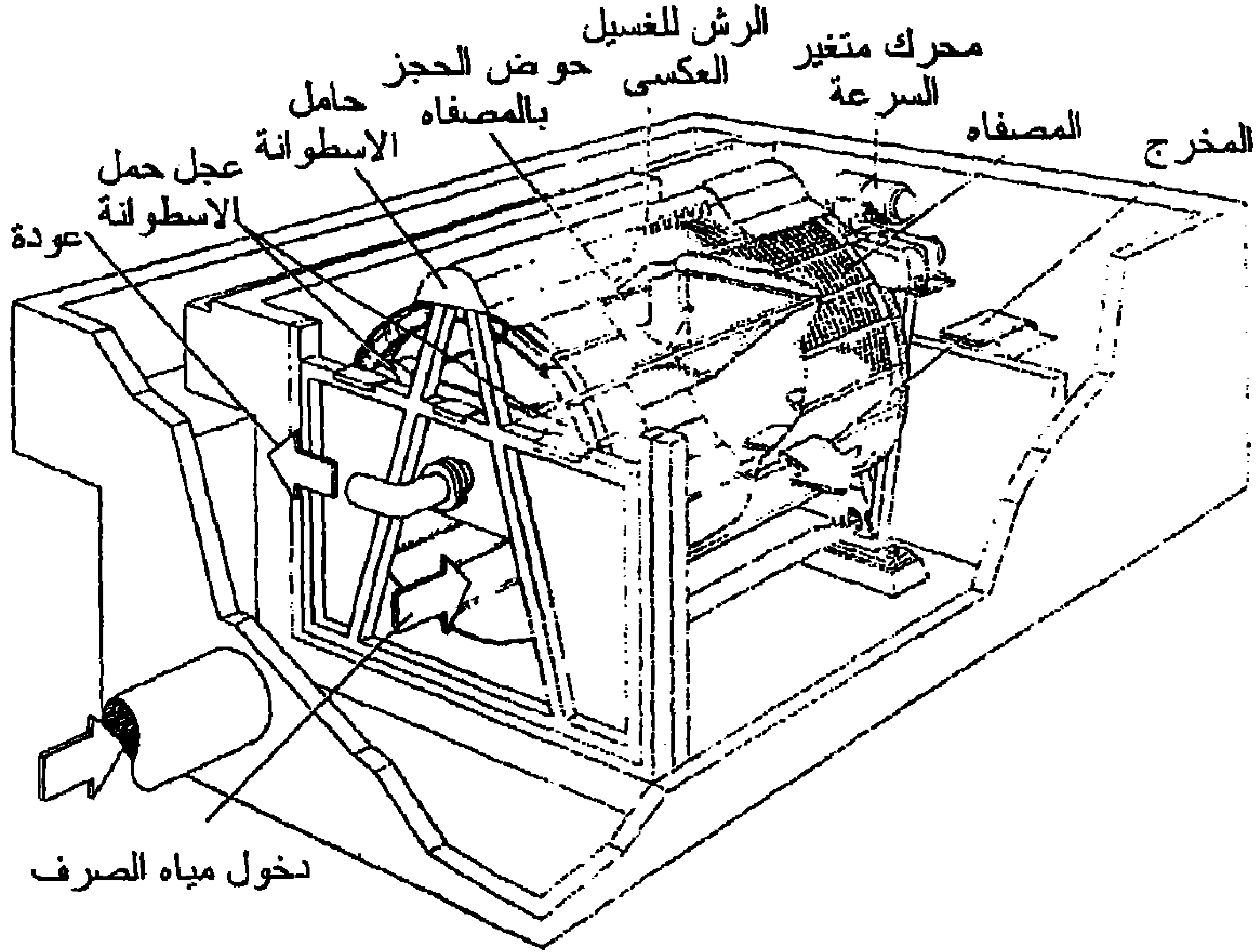
مخطط للمرشح الثلاثي الذي يعمل آلياً موضح في الشكل (٦/١٤) المياه المرشحة يمكن تخزينها في حوض مجاور لاستخدامها كمياه الغسيل العكسي وذلك عند وصول الفقد

فى الضغط خلال المرشح مستوى سبق تحديده. أحياناً حوض مياه الغسيل العكسى يوضع فوق المرشح مباشرة مكوناً وحدة واحدة.



شكل (٦/١٤) المرشحات السريعة بالغسيل العكسى يمكن استخدامها لتلميع المياه المعالجة فى المعالجة الثلاثية أو المتقدمة فى محطة معالجة مياه الصرف الصحى (a) يبين طريقة الترشيح (b) يبين طريقة الغسيل العكسى (c) يمكن إنشاء ثلاث خلايا ترشيح مستقلة فى وحدة مثقبة واحدة.

عملية أخرى تسمى التصفية الميكرونية (Microstraining) يمكن أن تستخدم كمعالجة ثلاثية لمياه الصرف لخفض المواد الصلبة العالقة. حيث تستخدم مصافى من نسيج مصنوع من أسلاك الصلب بفتحات صغيرة حتى ٢٠ ميكرومتر (الميكرومتر واحد/ مليون من المتر). الأسطوانة الدوارة تكون مغمورة جزئياً فى مياه الصرف المعالج ثنائياً الذى يجب أن يتدفق فى الأسطوانة ثم إلى الخارج خلال المصفاة الميكرونية. مع دوران الأسطوانة فإن المواد الصلبة المحتجزة تحمل إلى القمة حيث الرش بالمياه عالية السرعة يزيلها فى قادوس مركب على محور الأسطوانة. مخطط للمصفاة الميكرونية موضح فى الشكل (٦/١٥).



شكل (٦/١٥) مخطط يوضح المكونات الأساسية لوحدة المصافي الميكرونية التى يمكن أن تستخدم فى المعالجة الثلاثية لمياه الصرف.

إزالة الفوسفور : (Phosphorus Removal)

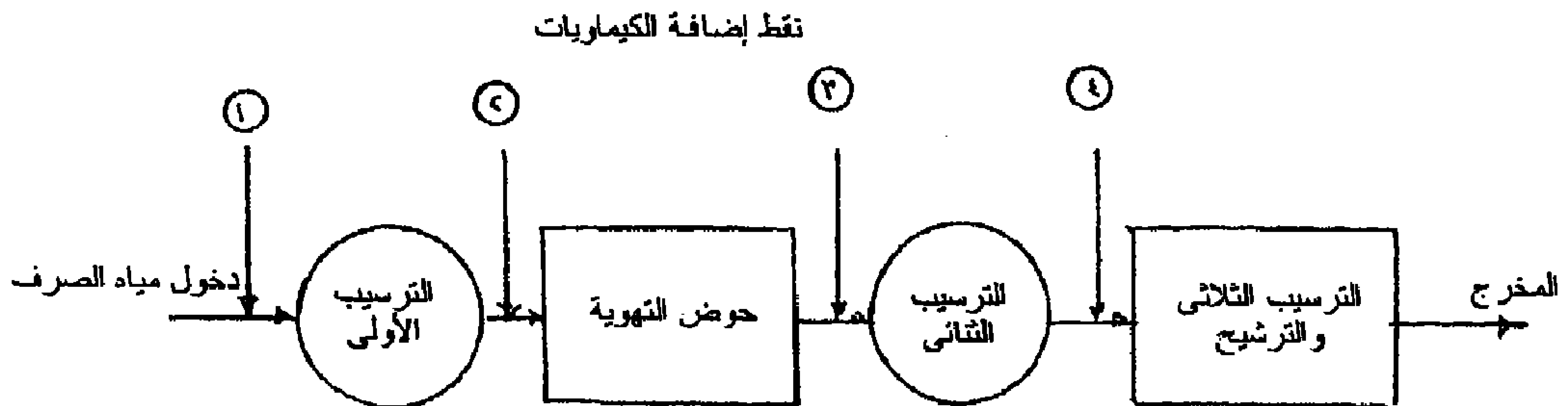
الفوسفور هو أحد العناصر الغذائية للنبات والذى يساهم فى زيادة النمو الطحلبى وتعفنه فى المسطح المائى. الصرف الصحى الخام يحتوى على حوالى ١٠ ملجرام/لتر من الفوسفور، ومصدره المنظفات الصناعية المنزلية والإفرازات الآدمية. الفوسفور فى مياه الصرف يوجد أساساً فى شكل الفوسفور العضوى مثل مركبات الفوسفات، PO^{3-}_4، يزال فقط حوالى ٣٠% من الفوسفور بالبكتريا فى وحدة المعالجة التقليدية الثنائية (البيولوجية)، حيث يتحرك حوالى ٧ جزء فى المليون من الفوسفور فى مياه الصرف المعالجة.

عندما تكون معايير الصرف على المسطحات المائية تتطلب تركيزات من الفوسفور منخفضة، فإنه يلزم إضافة عملية معالجة ثلاثية إلى محطة المعالجة. وهذه عادة تشمل الترسيب الكيميائى لأيونات الفوسفور، والترويب. مركبات الفوسفور العضوى تحتجز فى زغبات المروب التى تتكون وترسب فى حوض الترسيب.

المروب المستخدم عادة فى هذه العملية هو عـادة كبريتـات الألومنيـوم ($Al_2 SO_4$) والذى يسمى الشبه (Alum)، وهو نفس المروب المستخدم فى تنقية مياه الشرب. أيونـات الألومنيوم فى الشبه تتفاعل مع أيونات الفوسفات فى الصرف الصحى لتكـوين الراسـب الغير مذاب المسمى فوسفات الألومنيوم (Aluminum Phosphate). تـستخدم كيماويـات ترويب أخرى لترسيب الفوسفور مثل كلوريد الحديديك ($FeCl_3$)، الجير الحـى (CaO). إضافة المروب تحت التيار لعمليات المعالجة الثنائية يوفر أكبر إمكانيات كليـة لخفـض الفوسفور. وهى لا تزيل فقط ٩٠% من الفوسفور، ولكن تزيل بالإضافة إلى ذلك المـواد الصلبة العالقة وتقوم بعملية التلميع لمياه الصرف كذلك. ولكن عند استخدام المروبات بهذه الطريقة كعملية معالجة ثلاثية، فإنه يلزم أحواض إضافية للتزغيب والترويب والترسيب. فى بعض الحالات حتى أن المرشحات يمكن إضافتها لإزالة الزغبات التى لم ترسب.

ولتجنب الحاجة إلى إنشاء أحواض إضافية ومرشحات، فإنه فـى معظـم محطـات المعالجة التى تحتاج إلى إزالة الفوسفور يتم إضافة كيماويات الترويب إلى مياه الصرف عند نقطة ما فى العملية التقليدية. فمثلاً، يمكن إضافة الشبه قبل أحواض الترسيب الأولى. نواتج الجمع بين حماة المعالجة الأولى وحماة الكيماويات يتم إزالتها من المروق الأولى.

فى محطات الحمأة المنشطة، يمكن إضافة المروب مباشرة فى أحواض التهوية. فى هذه الحالة فإن تفاعلات الترويب والترسيب تحدث جنبـاً إلـى جنـب مـع التفـاعلات البيوكيماوية. أحياناً، يمكن إضافة المروب إلى مياه الصرف قبل المروقـات الثنائيـة أو الأخيرة مباشرة. بصرف النظر عن نقطة إضافة المروب فى العملية، فإن حجـم ووزن الحمأة اللازم التخلص منها يزداد كثيراً. بدائل إزالـة الفوسـفور بالترسـيب الكيمـاوى موضحة فى الشكل (٦/١٦).



شكل (٦/١١٦) يمكن إزالة الفوسفور من مياه الصرف بالترسيب الكيماوى، عادة تستخدم الشبه (كبريتات الألومنيوم)، يمكن إضافتها عند أحد النقاط الأربع الموضحة، ولكن النقطة رقم (٢) هى المستخدمة عادة.

إزالة النيتروجين : Nitrogen Removal

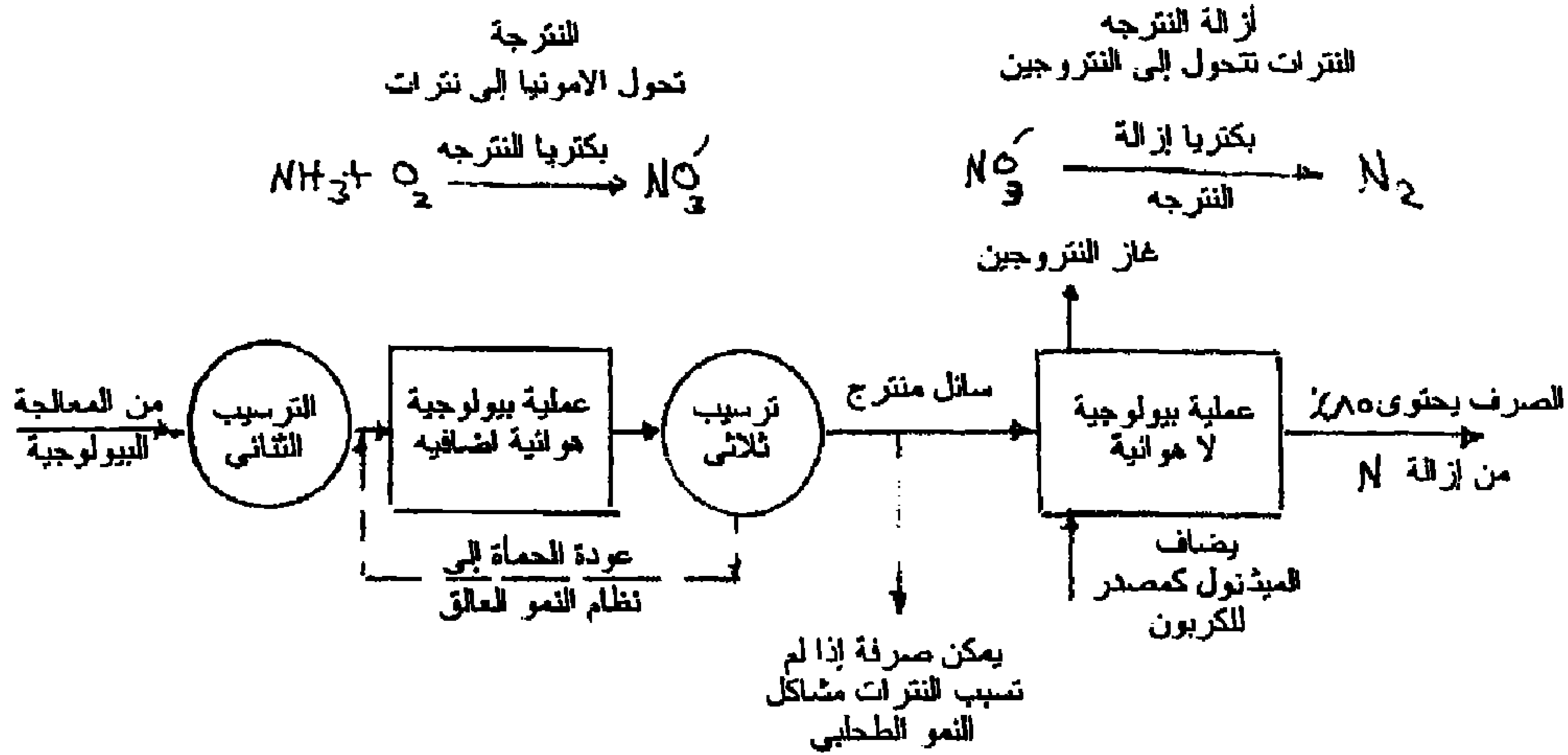
النيتروجين يمكن أن يوجد فى مياه الصرف فى شكل النيتروجين العضوى، الأمونيا، مركبات النترات. مياه الصرف المعالجة بالحمأة المنشطة التقليدية تحتوى غالباً على نيتروجين الأمونيا (أيون الأمونيا، فى شكل (NH^+_4). مياه الصرف المعالجة بطريقة المرشحات الزلطية أو الأقراص البيولوجية الدوارة (Biodisc) قد تحتوى على كثير من أيون النترات (NO^-_3)< ذلك لأن بكتريا النترجة (Nitrfying Bacteria) تلك الميكروبات التى تحول الأمونيا إلى نترات تكون لها فرصة النمو والتكاثر على بعض الأسطح فى وحدات المرشحات الزلطية والأقراص البيولوجية. وهذه لا تعيش فى النمو المختلط لحوض التهوية، حيث تتزاحم بعيداً بفعل البكتريا الأسرع نمواً والتى تستهلك المواد العضوية الكربونية.

النيتروجين فى شكل أمونيا يمكن أن يكون ساماً للأسماك، ونظراً لتحوله إلى النترات فإنه يستهلك الأكسجين الموجود فى الماء. نيتروجين النترات هو واحد من المركبات الغذائية للنبات المسببة للنمو الطحلبى فى المسطح المائى. لهذا السبب، يكون من الضرورى أحياناً إزالة النيتروجين من مياه الصرف المعالجة قبل صرفها على المسطح المائى مباشرة.

أحد الطرق المستخدمة لإزالة النيتروجين تسمى النترجة البيولوجية وإزالة النترجة (Biological Nitrification - Denitrification)، وهذه تتكون من خطوتين أساسيتين. أولاً، مياه الصرف بعد المعالجة الثنائية يتم إدخالها إلى حوض تهوية آخر، مرشح زلطى، أو قرص بيولوجى. نظراً لأن معظم الحمل الكربونى (BOD) تم إزالته، فإن الكائنات التى سوف تعيش حالياً فى الخطوة الثالثة هى بكتريا النترجة (Nitrifying Bacteria) وهى (Nitrosomonas and Nitrobacter). فى هذه الخطوة الأولى المسماة النترجة، يتحول نيتروجين الأمونيا إلى نيتروجين النترات منتجاً سائل تم نترجته. عند هذه النقطة النيتروجين لم تتم إزالته حقيقياً ولكن تحول فقط إلى الشكل الغير سام للأسماك والذى لا يتطلب أكسجين إضافى.

الخطوة البيولوجية الثانية للمعالجة ضرورية للإزالة الحقيقية للنتروجين من مياه الصرف. وهذه تسمى (Denitrification) أى إزالة النتروجين. وهذه عملية هوائية حيث فيها مادة الميثانول (Methanol) العضوية تضاف إلى السائل الذى تم نترجته لتعمل

كمصدر للكربون. بكتريا إزالة النيتروجين (Pseudomonas) ومجموعات أخرى تستخدم الكربون من الميثانول والأكسجين من النترات فى عملياتها للأيض (أى بنـــاء الخلايـــا - Melabolic). أحد المنتجات لهذا التفاعل البيوكيماوى هو النتروجين الجزيئي الذى ينطلق إلى الجو فى شكل غاز (N_2). مخطط لهذه العملية موضح فى الشكل (٦/١٧).



شكل (٦/١٧) يمكن إزالة النيتروجين من مياه الصرف الصحى لمنع النمو الطحلبى فى المسطح المائى. العملية البيولوجية للنترجة وإزالة النترجة يجب أن تتم بعد تمام عملية الحماة المنشطة الأساسية.

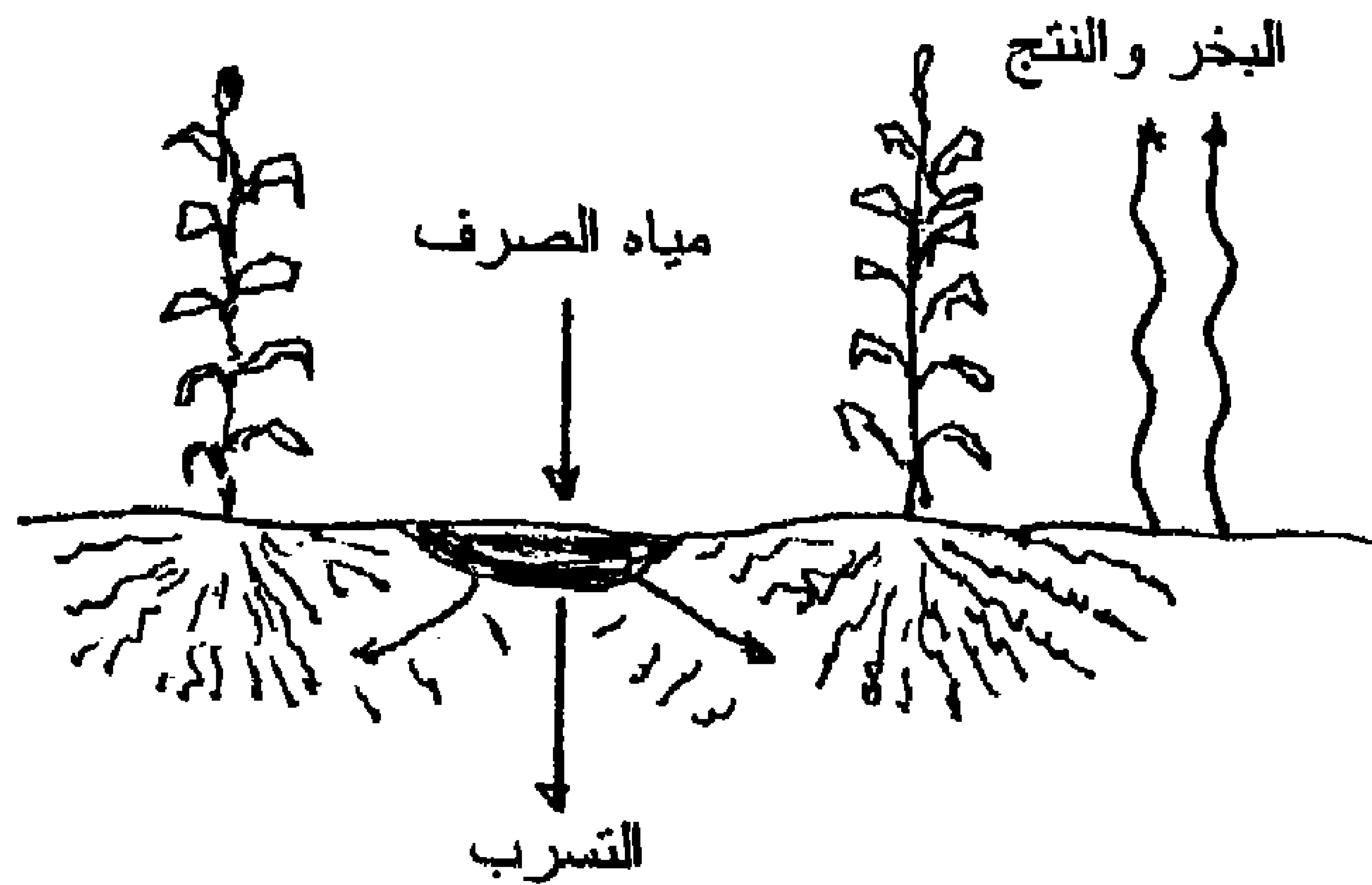
طريقة أخرى لإزالة النيتروجين تسمى تجريد الأمونيا (Ammonia Stripping). وهذه عملية طبيعية كيميائية وليست بيولوجية، وتتكون من خطوتين أساسيتين. أولاً، يتم رفـــع الرقم الهيدروجينى لمياه الصرف لتحويل أيونات الأمونيوم (NH_4^+) إلى غـــاز الأمونيـــا (NH_3). ثانياً، يتم اندفاع مياه الصرف فى شكل شلال (Cascade) إلى أسفل خلال بـــرج مرتفع، هذا بسبب الاضطراب والاختلاط مع الهواء، حيث يمكن للأمونيا أن تنطلق كغاز. يتم تدوير أحجام ضخمة من الهواء خلال البرج لحمل الغاز إلى خارج الوحدة. الجمع بين تجريد الأمونيا مع إزالة الفوسفور باستخدام الجير المطفى كمادة ترويب يحقق إفادة، ذلك لأن الجير المطفى يمكن كذلك أن يعمل على رفع الرقم الهيدروجينى (pH) لمياه الصرف. تجريد الأمونيا أقل تكلفة مقارنة بعملية النترجة وإزالة النترجة، ولكنها لا تعمل بكفـــاءة جيدة فى ظروف المناخ البارد.

المعالجة الأرضية لمياه الصرف: (Land Treatment of Wastewater)

استخدام طريقة نشر مياه الصرف المعالج بيولوجيا على ســطح الأرض. يمكــن أن يوفر بديل مؤثر لطرق المعالجة المتقدمة المكلفة والمعقدة التى تحدث مثل نشر تــدفقات

مياه الصرف الثنائية فوق سطح الأرض الخضراء وتسربها خلال التربة. الفوائد الأخرى للمعالجة الأرضية هى أنه يمكنها توفير الرطوبة والمواد الغذائية لنمو النباتات وكذلك المساعدة فى إعادة الشحن والتغذية للخزان الجوفى. فى الواقع، فإن المعالجة الأرضية لمياه الصرف تسمح بتدوير وإعادة استخدام المياه والمادة الغذائية للاستفادة منها، حيث تصبح مياه الصرف مصدراً طبيعياً له قيمة والذى لا يتم التخلص منه ببساطة. ولكن يلزم مساحات كبيرة نسبياً من الأراضى لهذا النوع من المعالجة، وكذلك نوع التربة، والمناخ تعتبر عوامل حساسة بالنسبة للتحكم فى جدوى وتصميم عملية المعالجة الأرضية.

توجد ثلاثة أنواع أساسية أو أشكال للمعالجة الأرضية وهى: المعدل البطئ، التسرب السريع فى التربة، التدفق فوق سطح الأرض (Slow Rate, Rapid in Fliteration and Over Land Flow). الحالات التى فيها تكون هذه الأنواع ذات أداء جيد وكذلك الأهداف الأساسية لهذه الأنواع من المعالجات تختلف. فى نظام المعدل البطئ، والذى يسمى كذلك الرى ونمو النبات (Irrigation, Vegetation) هو المكون الحساس لعملية معالجة مياه الصرف. رغم أن الغرض الرئيسى هو المعالجة والتخلص من مياه الصرف، فإن هناك فائدة أخرى وهى بالنسبة لاستخدام المياه والغذاء لإنتاج محاصيل زراعية (والتى هى الذرة والشعير والحبوب لتغذية الحيوانات). الغرض الآخر يمكن أن يكون المحافظة على مياه الشرب باستخدام مياه الصرف المعالجة ثنائياً فى رى المساحات الخضراء والمساحات الريفية الطبيعية الأخرى. مخطط لنظام المعالجة الأرضية بالمعدل البطئ موضح فى الشكل (٦/١٨).



شكل (٦/١٨) المعالجة الأرضية بطيئة المعدل

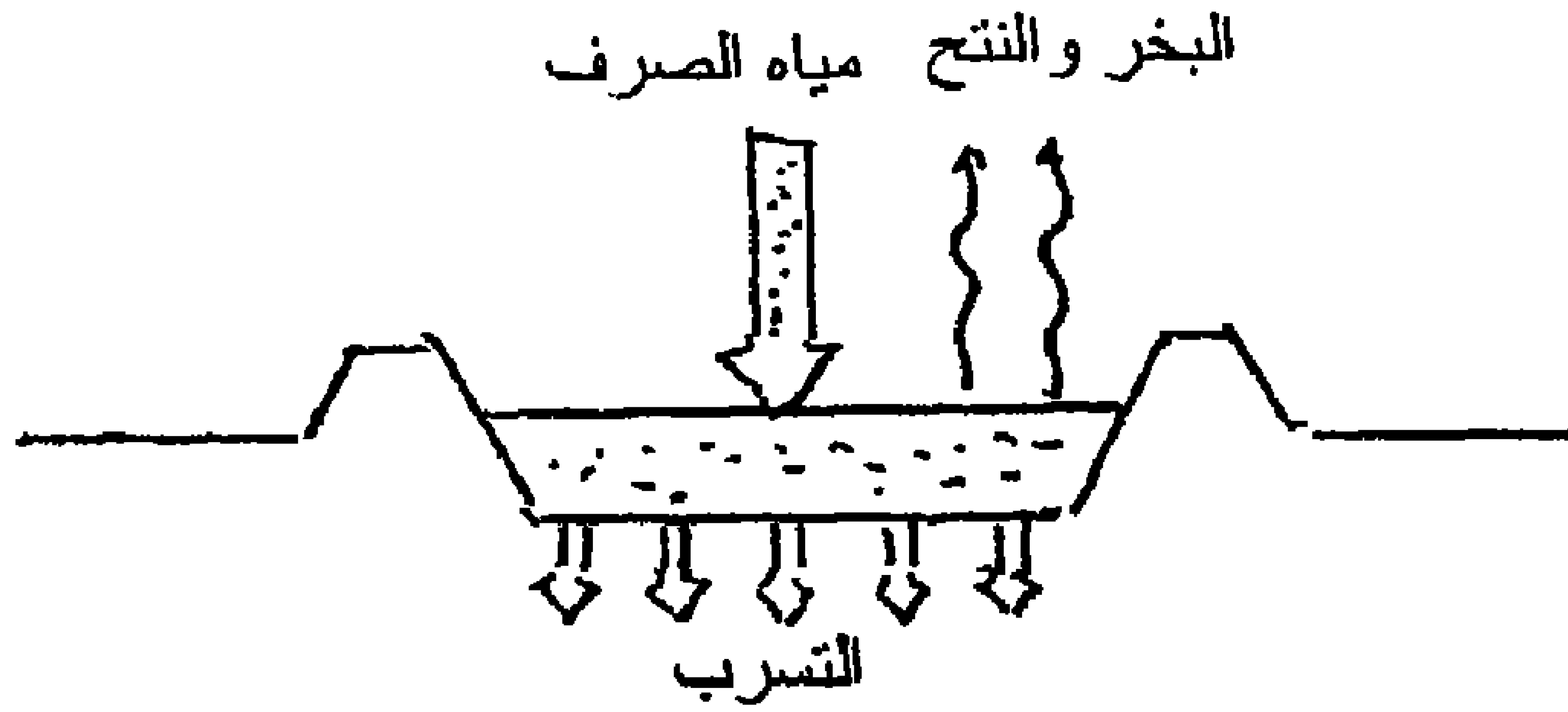
يمكن استخدام مياه الصرف على الأرض بنظم الرش أو بنظم النشر السطحى بطريقة القنوات (Ridge and Furrow). نظام الرش الأكثر شيوعاً يتكون من ذراع الرش الطويل الذى يدور على عجلة محمولة على محور مركزى. فى استخدامات طريقة القنوات تتدفق مياه الصرف بالجاذبية فى خنادق صغيرة. فى أى من الطريقتين فإن معظم المادة والغذاء يتم أخذه وامتصاصه خلال جذور النباتات التى تنمو.

ليس كل المياه المستخدمة فى الأرض بنظام المعدل البطئ يتم امتصاصها فبعض منها يتسرب خلال التربة إلى منطقة الخزان الجوفى. لا يسمح بالصرف العشوائى لمياه الصرف على سطح التربة، حيث التربة يجب أن يكون لها خاصية الصرف الجيدة. يمكن استخدام مياه الصرف على الأرض بمعدلات حتى ١٠٠ مليمتر فى الأسبوع (٤ بوصات)، باستثناء شهور الشتاء فى المناخ البارد. من بين الأنواع الثلاثة الأساسية لنظم معالجة الأرض، فإن طريقة المعدل البطئ تمثل أفضل النتائج بالنسبة لمستويات المعالجة الثلاثية لإزالة الملوثات. كلاً من المواد الصلبة العالقة والأكسجين الحيوى المطلوب ينخفض إلى حد كبير من خلال الترشيح لمياه الصرف والأكسدة البيولوجية للمواد العضوية فوق سطح الأرض لعدة سنتيمترات. يتم أولاً إزالة النيتروجين من خلال امتصاصه بواسطة النبات، والفوسفور فتتم إزالته من خلال إدمصاصه بواسطة التربة والنبات.

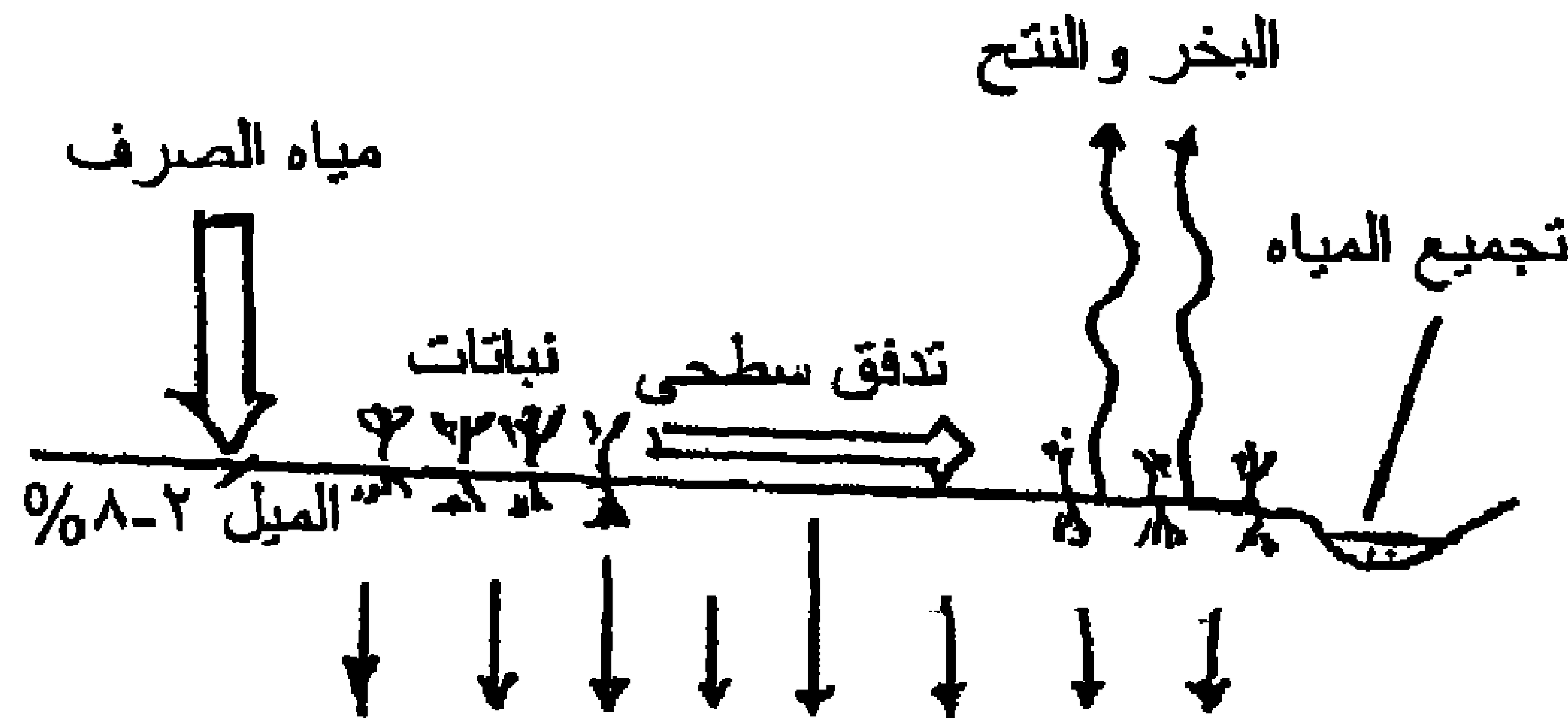
التسرب السريع والترشيح هو أحد صور المعالجة الأرضية وهدفه الرئيسى هو إعادة التغذية للخزان الجوفى وتوفير معالجة متقدمة لمياه الصرف. مخطط لطريقة التسرب والترشيح السريع (Rapid in Filteration) موضح فى الشكل (٦/١٩). معظم مياه الصرف الثنائية تتسرب إلى المياه الجوفية، قليل منها يتم امتصاصه بواسطة النبات. أداء التربة للترشيح والادمصاص يزيل معظم الحمل العضوى (BOD) والمواد الصلبة العالقة (TSS) والفوسفور من مياه الصرف، ولكن إزالة النيتروجين تكون ضعيفة نسبياً. يجب ان تكون التربة ذات نفاذية عالية للأداء الجيد لطريقة الترشيح السريع (Rapid in Filteration). عادة يتم استخدام مياه الصرف فى برك ضخمة تسمى أحواض إعادة الشحن (Recharge Basins).

نظام التدفق فوق سطح الأرض موضح فى الشكل (٦/٢٠). حيث يتم نشر مياه الصرف فوق سطح مائل حيث تتدفق خلال السطح المزروع بالنباتات إلى حفرة التجميع.

التنقية تتم بالعمليات الطبيعية والكيميائية والبيولوجية مع تدفق مياه الصرف فى شكل طبقة رقيقة منحدرة على سطح غير نفاذ نسبياً. يمكن استخدام التدفق فوق سطح الأرض لتحقيق كفاءة إزالة للحمل العضوى والنيتروجين تقارن الطرق الأخرى للمعالجة الثلاثية، ولكن إزالة الفوسفور تكون محدودة إلى درجة ما. المياه التى تم جمعها فى الحفرة يتم صرفها إلى مسطح مائى قريب.



شكل (٦/١٩) الترشيح السريع



شكل(٦/٢٠) التدفق فوق سطح الأرض

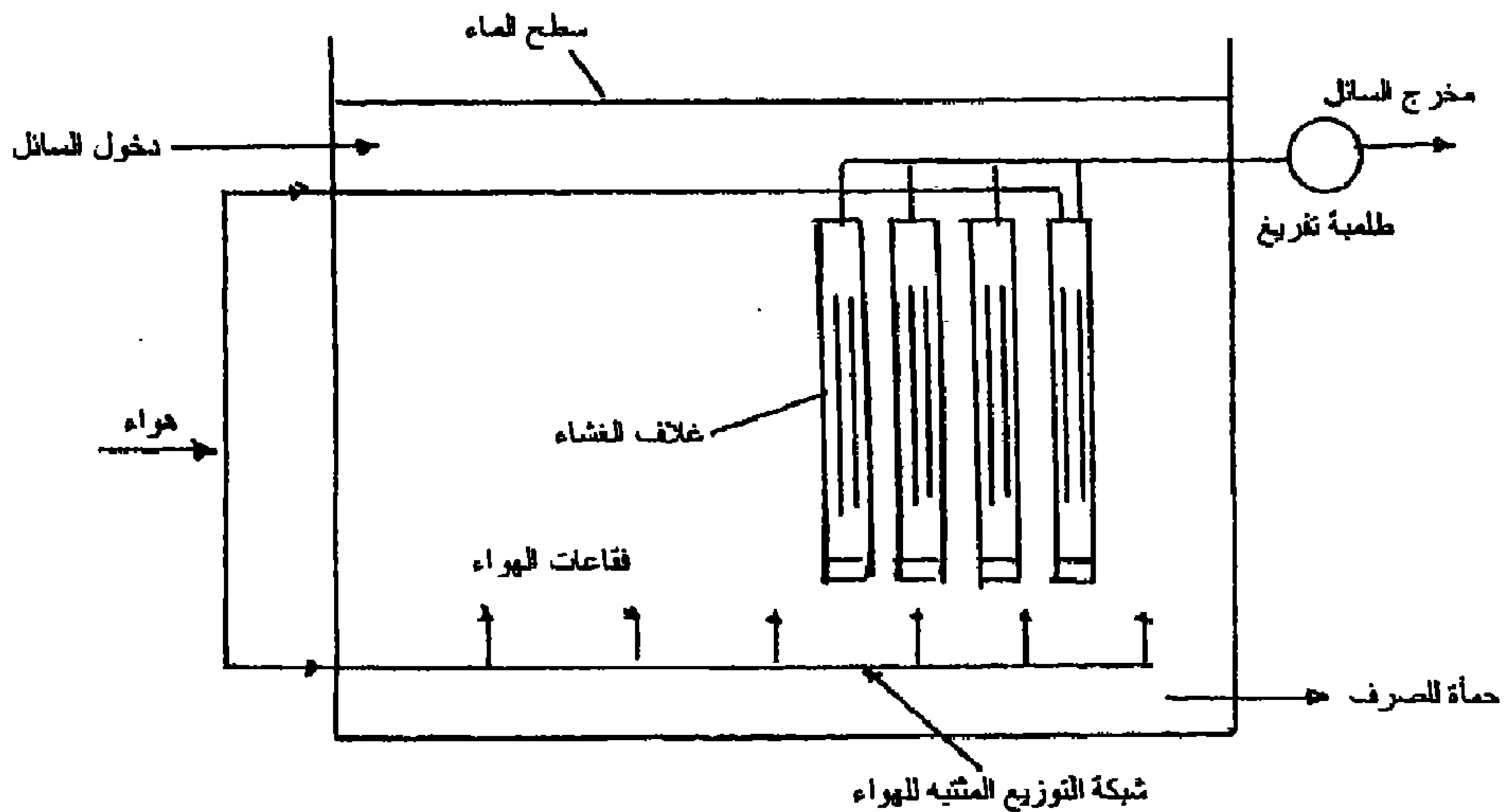
تقنيات معالجة جديدة: (New Treatment Technologies)

نظراً لزيادة الحرص فى تدقيق معايير الصرف لمياه الصرف الصحى حيث تطلب ذلك تطوير وتحديث كثيراً من محطات معالجة مياه الصرف الصحى القديمة. هذا التوجه، بالإضافة إلى محدودية المساحات من الأراضى للتوسع للكثير من محطات المعالجة القديمة فى المناطق الحضرية، فإن هذا كان الدافع للمهندسين للبحث عن تقنيات جديدة لمعالجات مياه الصرف الصحى. نوعين من التقنيات الجديدة التى سبق دراستها فى تجارب نصف صناعية وهى عملية مفاعل الغشاء البيولوجى (Membrane Bioreactor (MBR) Process) ومفاعل زيادة ثقل الزغب (Ballasted Floc Reactor) (BFR).

عملية غشاء المفاعل البيولوجي : Membrane Bioreactor Process

في عملية غشاء المفاعل البيولوجي، تتم عمليات التهوية، الترسيب الثنائي، والترشيح في مفاعل بيولوجي واحد وليس في ثلاثة أحواض منفصلة، حيث يتم توفير المعالجة الثلاثية خلال مساحة صغيرة من الأرض مقارنة بالمعالجة التقليدية. أغشية الترشيح الميكروني بالشعيرة الجوفاء يتم تجميعها في حزم إلى وحدات (Modules) وتجميعها معاً في علب حافظة (Cassettes). ثم توصيلها معاً بواسطة أنبوبة تجميع (Header pipe) إلى طلمبات التفريغ السائل الثنائي، العلب الحافظة يتم غمرها في حوض التفاعل البيولوجي. طلمبات التفريغ (Vacuum Pumps) تدفع السائل الثنائي خلال الأغشية ولكن تترك المواد الصلبة العالقة، بما يغني عن الحاجة للمروق الثنائي والضخ للحمأة المعادة. مخطط العملية غشاء المفاعل البيولوجي موضح في الشكل (٦/٢١).

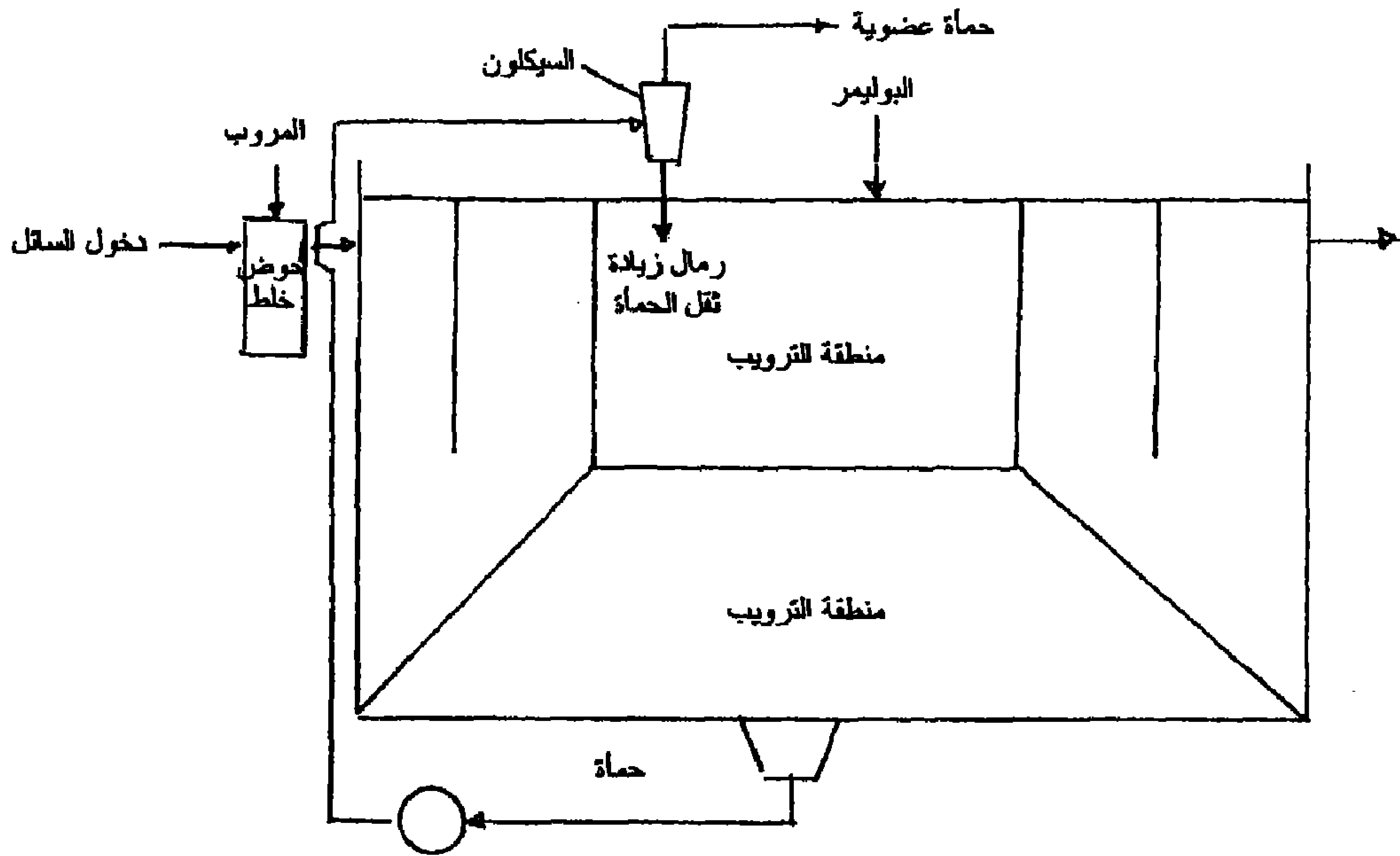
نظراً لأن الحمأة المنشطة تظل في الحوض، فإن مستويات المواد العالقة للسائل المخلوط (MLSS) تكون أعلى بكثير عن نظم الحمأة المنشطة التقليدية. وبذا يصبح من السهل المعالجة خلال حجم أصغر. يتم الإمداد بالهواء خلال فتحات ناشرات الفقاعات أسفل علب حفظ الغشاء، حيث يتم الإمداد بالأكسجين للمعالجة البيولوجية والتقليب لنظافة وغسيل الغشاء، ناشرات الفقاعات الصغيرة تستخدم كذلك لتوفير هواء أكثر للمعالجة. تستخدم كذلك الدورات الآلية للغسيل العكسي للتنظيف واستعادة نفاذية الغشاء عند فترات منتظمة. هذا النظام يمكن بناؤه جديداً أو بإعادة تثبيته في حوض حمأة منشطة قائم.



شكل (٦/٢١) مخطط لغشاء المفاعل البيولوجي، والذي يجمع الحمأة المنشطة مع الترشيح الغشائي لعمل المعالجة الثلاثية في وحدة معالجة واحدة

مفاعل زيادة ثقل الزغبات : (Ballasted Floc Reactor)

الترويب بالتثاقل هو عملية كيماوية – طبيعية التى تزيد معدل الترسيب للمواد الصلبة العالقة أكثر من ذلك لعمليات الترسيب الأولى التقليدية. يتم أولاً الخلط السريع للمروب مع مياه الصرف لعملية التزغيب والترويب. عندئذ يتم إضافة الرمل والبوليمر لتكوين جسيمات من الزغبات أثقل وأكبر، والتى ترسب سريعاً، البوليمر يربط الرمل مع جسيمات الزغبات العضوية. السائل الذى تم ترويقة يتم صرفه فوق هدار ويتم ضخ الحمأة المرسبة إلى جهاز الفصل للرمال بواسطة قوة الطرد المركزى (Hydroclone). يتم تدوير الرمال ثانياً إلى المفاعل وضخ الحمأة العضوية إلى عملية معالجة مناسبة شكل (٦/٢٢) يوضح مخطط لطريقة مفاعل زيادة ثقل الزغبات. كلاً من نظام غشاء المفاعل البيولوجى ومفاعل زيادة ثقل الزغبات يمكن استخدامها على التوازى للتوفير فى تكاليف التصميمات. تم الانتهاء من التشغيل لمحطة معالجة ناجحة تجريبية فى عام ١٩٩٩.



شكل (٦/٢٢) مخطط لمفاعل الترويب بزيادة ثقل الزغبات، حيث يضاف الرمل مع المروب والبوليمر لزيادة سرعة ترسيب الزغبات. يفصل الرمل مع الحماة العضوية فى السيلكون ويعاد استخدامه

٥- التخلص من مياه الصرف فى الموقع :

(On Site Waste Water Disposal)

تم تناول طريقة مختلفة لمعالجة مياه الصرف الصحى، وهذه عادة تتم فى موقع منفرد أو مركزى لمياه الصرف التى تنتج من مصادر مختلفة. عادة هذه المعالجات المركزية تمتلكها المحليات وتقوم بتشغيلها وصيانتها.

فى المناطق القروية والضواحى حيث الكثافة السكانية ضعيفة فإنه لا يكون من المناسب إقتصادياً إقامة محطة معالجة مركزية ونظام تجميع لمياه الصرف. المنازل يمكن أن تكون متباعدة عن بعضها وحصة التكاليف لكل وصلة منزلية ستكون مرتفعة. البديل، النظام الذى يوفر صرف مياه الصرف فى الأراضى يمكن توفيره لكل منتج لمياه الصرف الصحى. وهذا يسمى التخلص من مياه الصرف فى الموقع تحت السطح.

يوجد دائماً ميل قوى لإنشاء محطة معالجة مركزية فى المناطق الحضرية. الصرف تحت السطحى يعتبر شكل مؤقت للتخلص من مياه الصرف، وبسبب الأعطال الكثيرة فى هذا النظام، فإنه يعتبر غير مرغوب فيه ولا يعتمد عليه. ولكن فى حالة وضعه فى المكان المناسب، وتصميمه وإنشاؤه جيداً، فإن نظام الصرف تحت السطحى يمكن أن يعمل بكفاءة للتخلص من مياه الصرف الصحى على أساس الفترات والمدد الطويلة. حالياً، حوالى ٢٥% من المساكن الجديدة فى أمريكا تستخدم الصرف تحت السطحى.

تقييم الموقع : (Site Evaluation)

طبوغرافية السطح وكذلك الظروف تحت السطحية عند الموقع المقترح تعتبر هامة بالنسبة لتخطيط وتصميم التخلص تحت السطحى من مياه الصرف. من بين العوامل الهامة المتعلقة للأداء الجيد للنظام تحت السطحى هو شكل التربة (Texture) التى سيتم فيها صرف مياه الصرف. تحديداً، النفاذيه أو التوصيل الهيدروليكى للتربة يجب أن تكون فى المجال المقبول. إذا كانت منخفضة جداً، فإن مياه الصرف سوف لا تكون قادرة على التسرب بسرعة للتخلص المؤثر. إذا كانت مرتفعة جداً فإنه قد لا يتوفر الوقت الكافى للتنقية لمياه الصرف قبل وصولها إلى خط المياه الجوفية.

التربة ذات الحبيبات الكبيرة نسبياً، والتى تحتوى على نسبة عالية من الرمل عادة تكون ذات توصيل هيدروليكى مرتفع. وهى عموماً مناسبة للصرف تحت السطحى لمياه الصرف طالما أن معدل التسرب ليس كبيراً. التربة ذات الحبيبات الدقيقة مثل حبيبات

الرمل والغرين الدقيقة جداً توفر مقاومة أكبر لتدفق المياه. التربة المحتوية على نسبة عالية من الطفل غير مقبولة عادة للصرف تحت السطحي بسبب الانخفاض الشديد في نفاذيتها. بالإضافة إلى التوصيل الهيدروليكي، فإن العمق حتى المياه الجوفية وكذلك حتى الطبقة الصخرية تعتبر عوامل هامة بالنسبة لاختبار موقع وتصميم نظام الصرف تحت السطحي. عموماً الطبقة الصخرية، وخط المياه المرتفع الموسمي المرتفع يجب ألا يقل عن ٣ متر تحت نظام الصرف. هذه القيم سوف تتغير طبقاً لمعايير الصحة المحلية والقوانين والمعايير البيئية.

قبل اتخاذ القرار بالنسبة لاستخدام نظم الصرف تحت السطحي، يكون من الضروري الدراسة الجيدة للموقع وظروف التربة وخرائط بيانات التربة من المصادر المحلية يتم دراستها بالنسبة للبيانات الأولية. في الموقع يتم عمل حفرة اختبار كبيرة لعمق حوالي ٤ أمتار. الملاحظة البصرية لشكل التربة، العمق إلى المياه الجوفية، والعمق إلى الطبقة الصخرية يتم تسجيلها.

اختبار التسرب : (Percolation Test)

لتقدير قدرة التربة على نقل التدفق للمياه يتم عمل اختبار التسرب الذي يوفر القياس الغير مباشر لنفاذية التربة أو التوصيل الهيدروليكي. عادة يلزم عدة اختبارات تسرب منفصلة قريباً من نظام الصرف تحت السطحي المقترح، وخاصة إذا كانت حالات التربة شديدة التغير في الموقع. اختبار التسرب ببساطة يقيس المعدل الذي تتسرب به المياه في التربة في ثقب اختبار. ويسمى أحياناً اختبار التسرب بسقوط الضغط (Falling Head)، ذلك لأن السقوط في منسوب الماء في ثقب الاختبار الجاري قياسه. بالإضافة إلى توفير البيانات عن ما إذا كان يمكن استخدام النظام تحت السطحي التقليدي، فإن اختبار التسرب يوفر البيانات لتصميم حجم حقل التسرب (Leaching Field). عموماً اختبار التسرب يجب تنفيذه بواسطة عناصر مؤهلة تحت إشراف مهندس متخصص ومراقبة مندوب من الإدارة الصحية. اختبارات التسرب يمكن تلخيصها كالآتي :

١- ثقب الاختبار : (Test Hole)

يتم حفر ثقب الاختبار بقطر ٢٠ سم (٨ بوصات) في التربة إلى العمق لمجال التسرب المقترح عادة حوالي ٠,٦ متر (٢ قدم). يمكن عمل ذلك على عرق ناتئ ضحل (Shallow Ledge) قريباً من حفرة الاختبار. أجناب الثقب يمكن عندئذ خدشها بآلة حادة،

يمكن وضع بوصة أو اثنين من الزلط الفاير عند قاع الثقب لمنع التقليب (Scour) فيما بعد.

٢- تشبع ثقب الاختبار بالماء : (Soaking The Test Hole)

يتم تغذية وتشبع الثقب بملئه بالماء النقى. بالنسبة للتربة الرملية، يسمح لكل الماء بالصرف، بالنسبة للتربة الغرينية (Silty) أو ذات المحتوى العالى من الطفلة، فإنه يسمح للماء ليظل فى الثقب لمدة ليلة ثم يتم عمل الاختبار فى اليوم التالى.

٣- قياس معدل التسرب :

بعد ثبات معدل السقوط، يتم إعادة ملء الثقب حتى عمق ٢٠ سم (٨ بوصة). الزمن اللازم لسقوط منسوب الماء ١٥سم (٦ بوصات) يتم تسجيله. فى التربة بطيئة التصريف والمتماسكة، يمكن قياس سقوط الماء فى فترات كل ٣٠ دقيقة بدلاً من الانتظار حتى السقوط ١٥ سم.

٤- حساب معدل التسرب :

معدل التسرب لكل ثقب اختبار يتم حسابه بالدقيقة لكل سقوط واحد بوصة لمنسوب الماء، أو لدقائق لسقوط ٢,٥ سم. طالما أن معدل التسرب لا يتغير بأكثر من ٢٠ دقيقة، فإن معدل التسرب للمنطقة يتم الحصول عليه بمتوسط المعدلات من كل ثقب اختبار. خلاف ذلك، الاختلافات فى نوع التربة يتم ملاحظتها.

مثال :

أثناء اختبار التسرب، لوحظ أن منسوب الماء فى ثقب الاختبار سقط بمعدل ثابت ¾ بوصة عند فترات كل ١٠ دقائق. أحسب معدل التسرب بالدقيقة للبوصة.

الحل :

معدل التسرب بالدقيقة/ البوصة، يمكن حسابه ببساطة بقسمة الفترة الزمنية بما يقابلها من سقوط ثابت فى منسوب الماء.

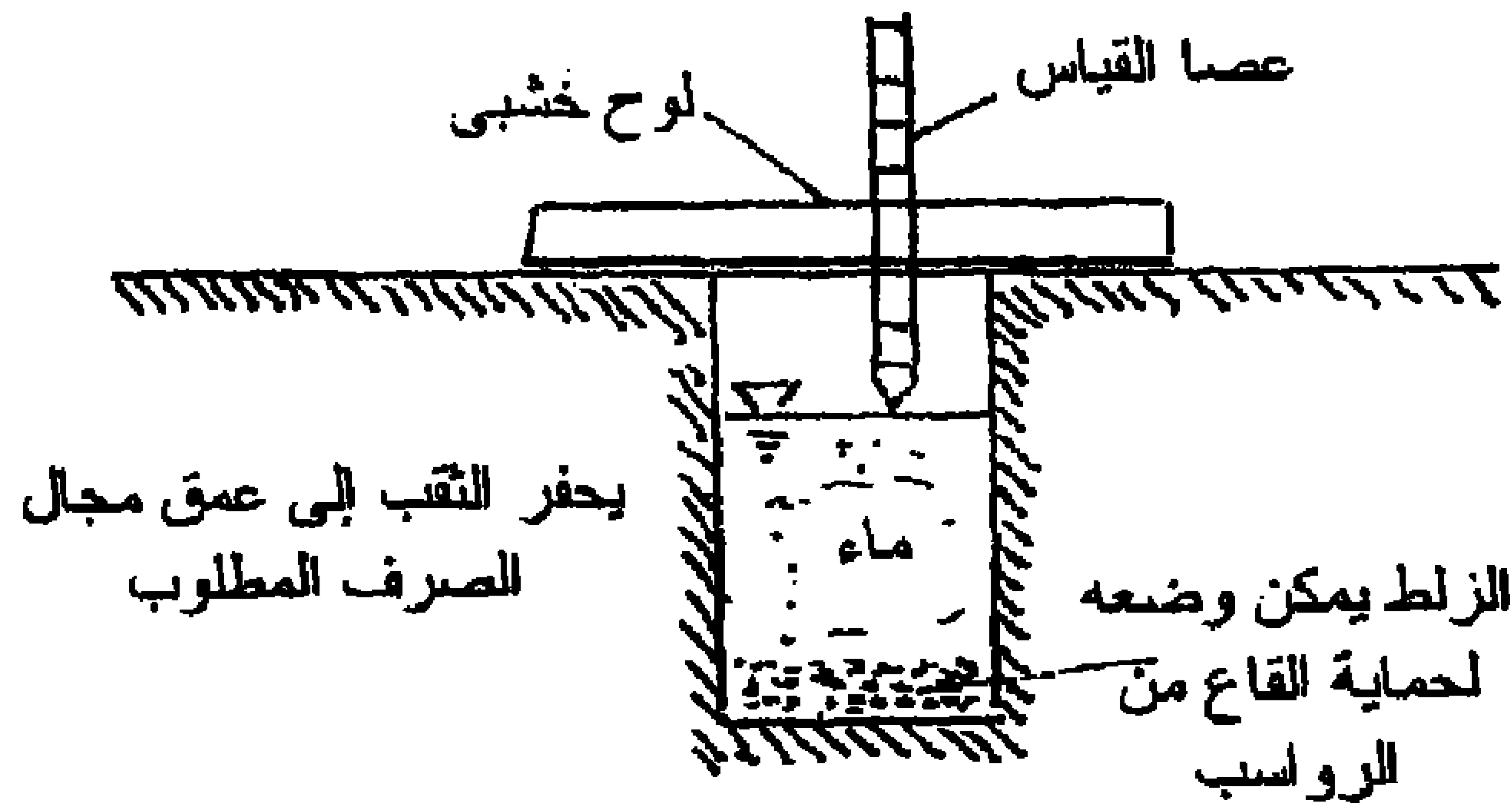
معدل التسرب = ١٠ دقيقة ÷ ¾ بوصة = ١٤ دقيقة/ البوصة (تقريباً)

فى هذا المثال السقوط فى منسوب الماء تم قياسه بفواصل عشرة دقائق، يمكن استخدام فواصل زمنية أقل فى حالة سقوط المنسوب ببطء.

أحد الطرق المستخدمة لقياس وتوقيتات سقوط الماء فى ثقب الاختبار موضح فى الشكل (٦/٢٣). يتم ببساطة تعليق عصا القياس المدرجة على لوح خشب موضوع فوق ثقب الاختبار.

هذا اللوح الخشبي يعمل كمؤشر ثابت للمنسوب لأخذ القياس عند مجرد اختراق عصا القياس سطح الماء. التجهيزات التي تعمل بالبطارية التي تسمى (Percometers) متاحة تجاريا. عملها مبني على حقيقة أن الماء موصل كهربي، عند سقوط منسوب الماء أسفل نهاية المجس الموضوع في بئر الاختبار، فإن المقياس يبين انقطاع الدائرة، والفاصل الزمني للسقوط السابق تحديده في منسوب الماء يمكن عندئذ قياسه.

عموما إذا كان معدل التسرب أبطأ من ٦٠ دقيقة/ البوصة (وفي بعض الحالات يمكن أن يكون ٤٠٠ دقيقة)، فإن التربة تعتبر غير مناسبة لنظم التحليل التقليدية (Septic System). إذا كان المعدل أسرع من واحد دقيقة/ البوصة، فإن الصرف تحت السطحي يمكن كذلك منعه وذلك لحماية نوعية المياه الجوفية.



شكل (٦/٢٣) اختبار التسرب يمكن عمله باستخدام اللوح الخشبي الأفقي وعصا القياس

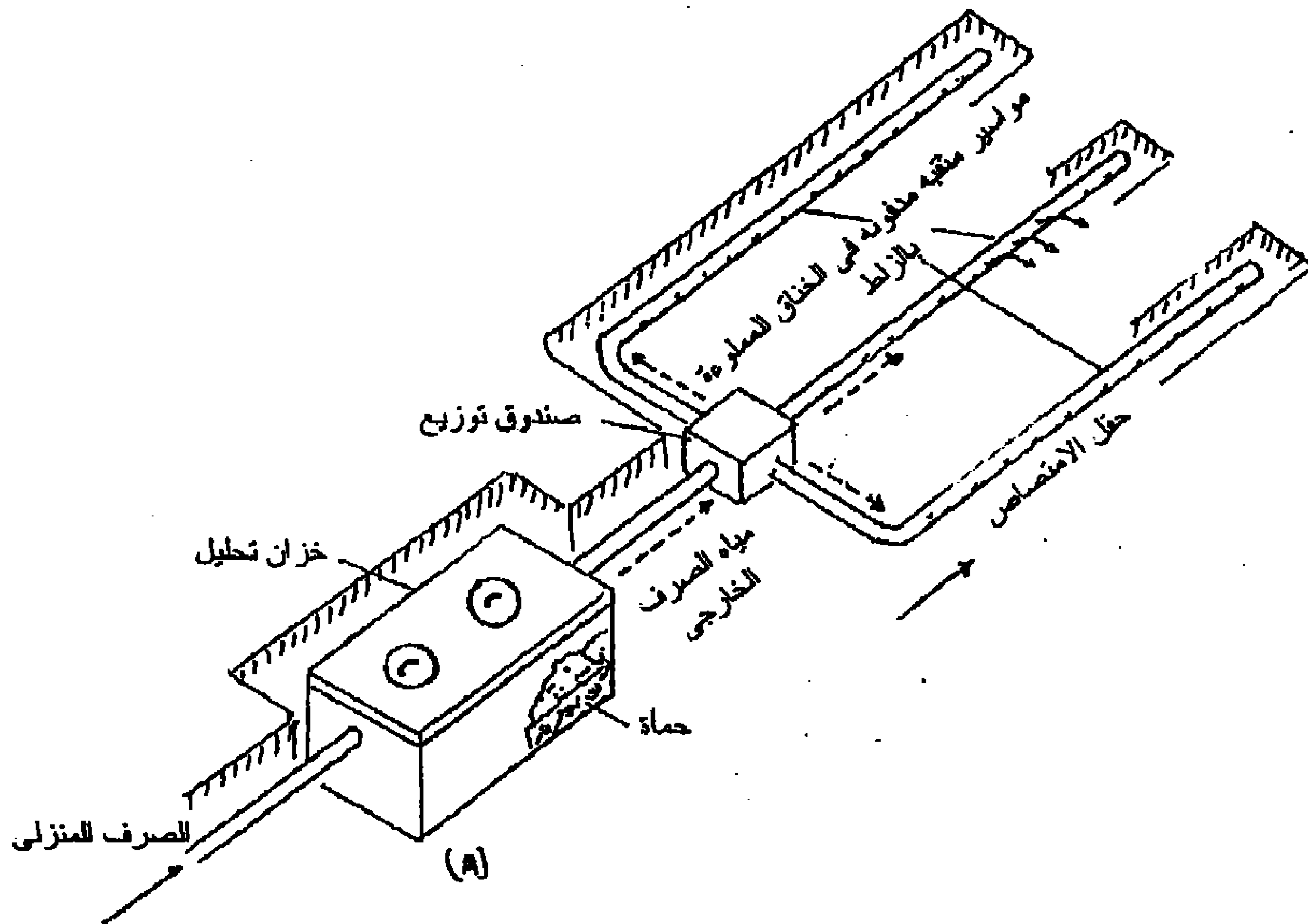
نظم التحليل : (Septic Systems)

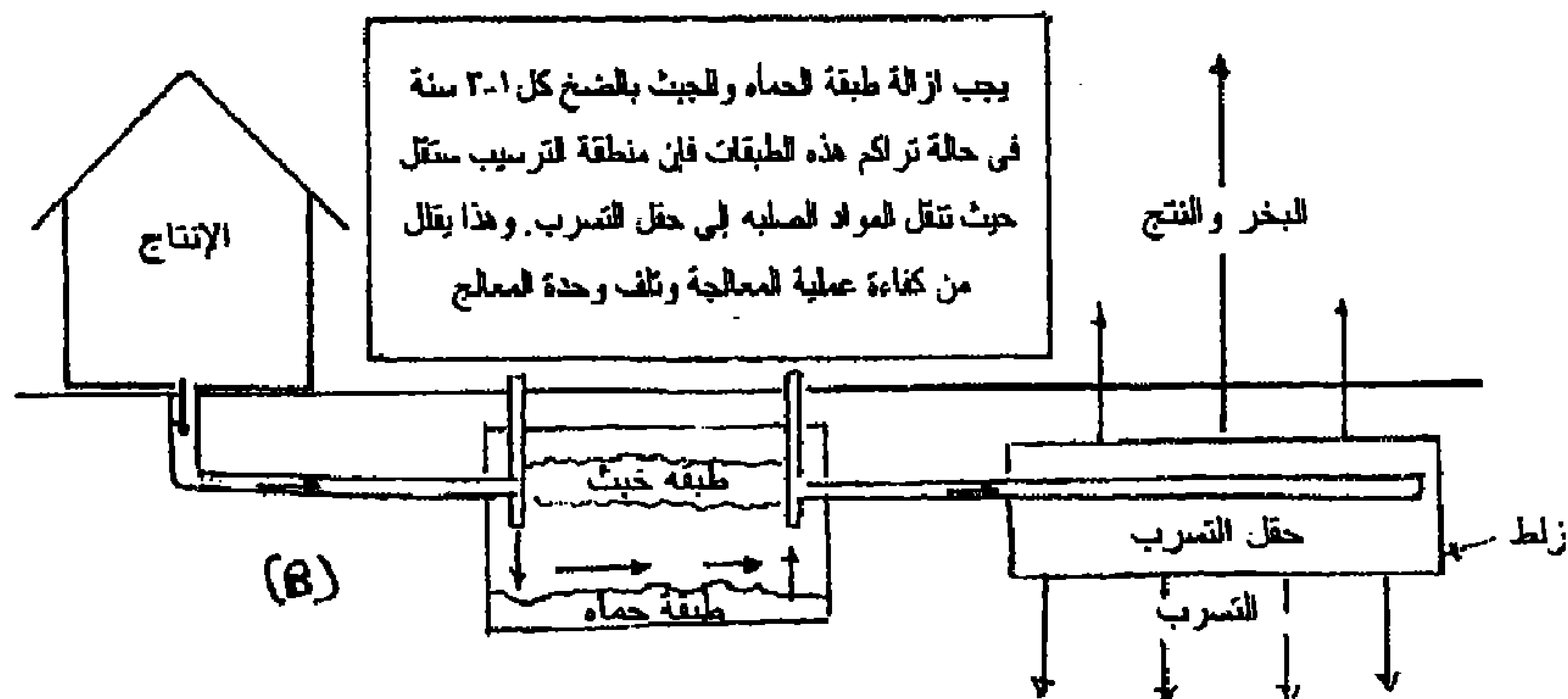
النوع الشائع كثيراً لنظام الصرف تحت السطحي يشمل خزان التحليل، وحقل الامتصاص أو الارتشاح (Absorbtion or leaching field) كما هو موضح في الشكل (٦/٢٤). بالاختصار يعمل الخزان على تخزين المواد الصلبة الراسبة والطافية وحقل الامتصاص على توزيع السائل حيث يمكنه التسرب خلال التربة. تحلل المواد العضوية يحدث في الظروف اللاهوائية، لذلك كانت التسمية نظام التحليل (Septic System).

خزان التحليل : Septic Tank

يجب إزالة المواد الصلبة القابلة للترسيب والمواد الطافية من مياه الصرف الصحي الخام قبل صرفها في التربة. يستخدم خزان تحليل مدفون لتوفير المعالجة الأولية الضرورية كما يعمل كحوض تجميع للحمأة. المواد الصلبة الطافية والشحوم يتم حجزها بواسطة عوائق (Baffles) عند

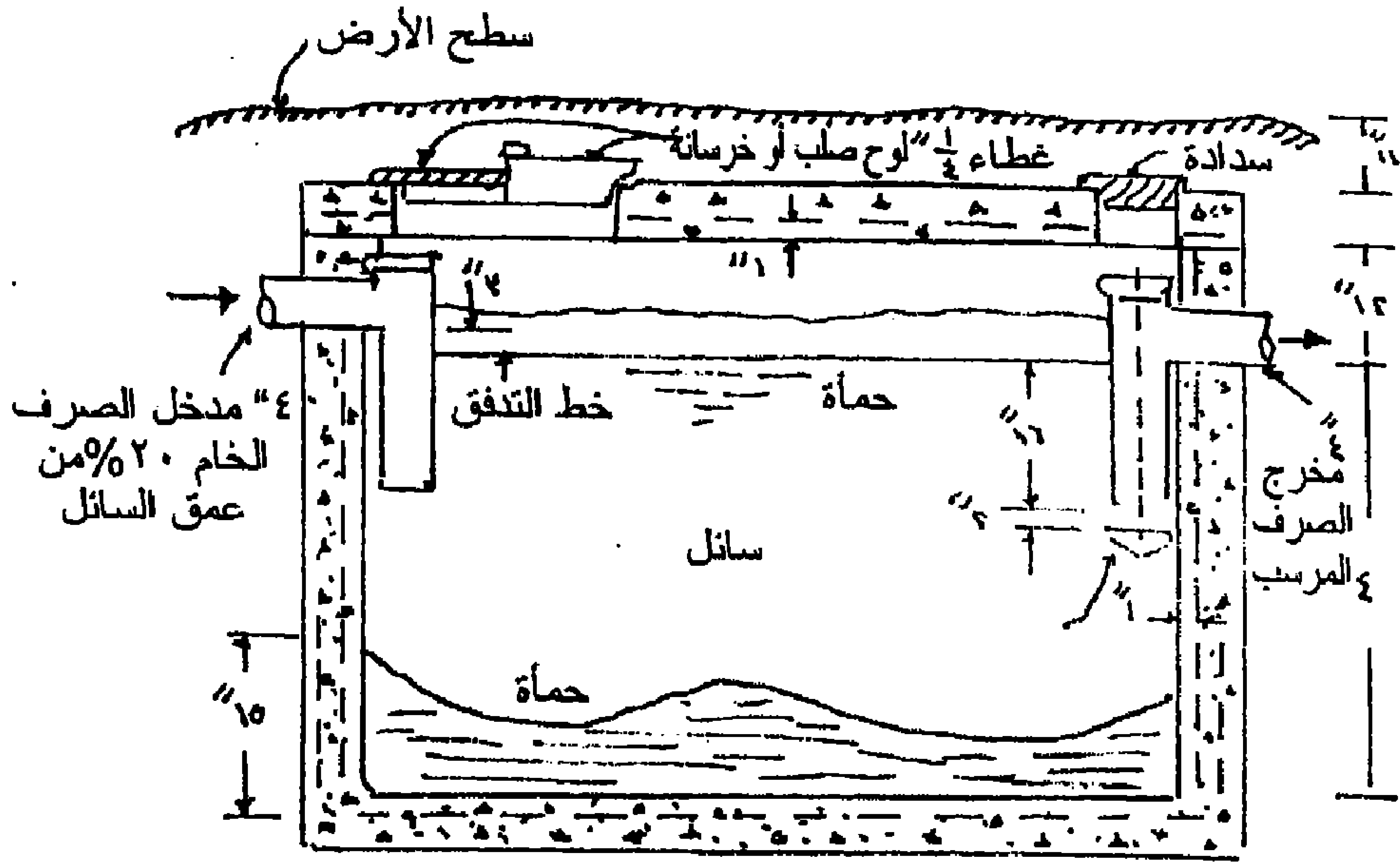
مخرج الحوض ومنعها من دخول تربة الامتصاص. المواد الصلبة القابلة للترسيب تتراكم في منطقة الحمأة عند قاع الخزان، والسائل الأولى يتدفق إلى الخارج إلى مجال الامتصاص بالتربة. بعض من الحمأة يتحلل تحت الظروف اللاهوائية، ولكن أحيانا تتراكم المواد الصلبة التي لم تتحلل ويرتفع منسوب الحمأة. لضمان الأداء الجيد وطول فترة العمل، فإن خزانات التحليل يتم ضخها للنظافة على أساس روتيني، كل عدة سنوات. في حالة التراكم للكثير من الحمأة في الخزان، فإن المواد الصلبة سوف تحمل مع السائل بما يسبب انسداد في تربة الامتصاص. هذا واحد من أهم أسباب فشل خزان التحليل.





شكل (٦/٢٤) (A) مخطط للصرف تحت السطحي لمياه الصرف باستخدام خزان تحليل وحقل امتصاص (B) تدخل مياه الصرف حيث يتسرب معظمها خلال الزلط حيث توجد جيوب الأكسجين التي تنشط البكتريا الهوائية. الفوسفور والنيتروجين يستهلك بواسطة النباتات وجزء من الرطوبة يعود للجو.

تصنع خزانات التحليل بأشكال مختلفة وأحجام مختلفة. نموذج للخزان الصغير المستطيل موضح فى الشكل (٦/٢٥). أدنى حجم للخزان لمنزل مستقل هو عموماً حوالى بطاقة سائل ٣٨٠٠ لتر. خزانات التحليل يجب أن تكون محكمة ضد تسرب الماء ولها اقتراب وسهولة للتفتيش والنظافة. قمة الخزان تكون حوالى ٣٠ سم (١قدم) أسفل سطح الأرض.



شكل (٦/٢٥) مقطع فى خزان التحليل

حقل الارتشاح (Leaching Field)

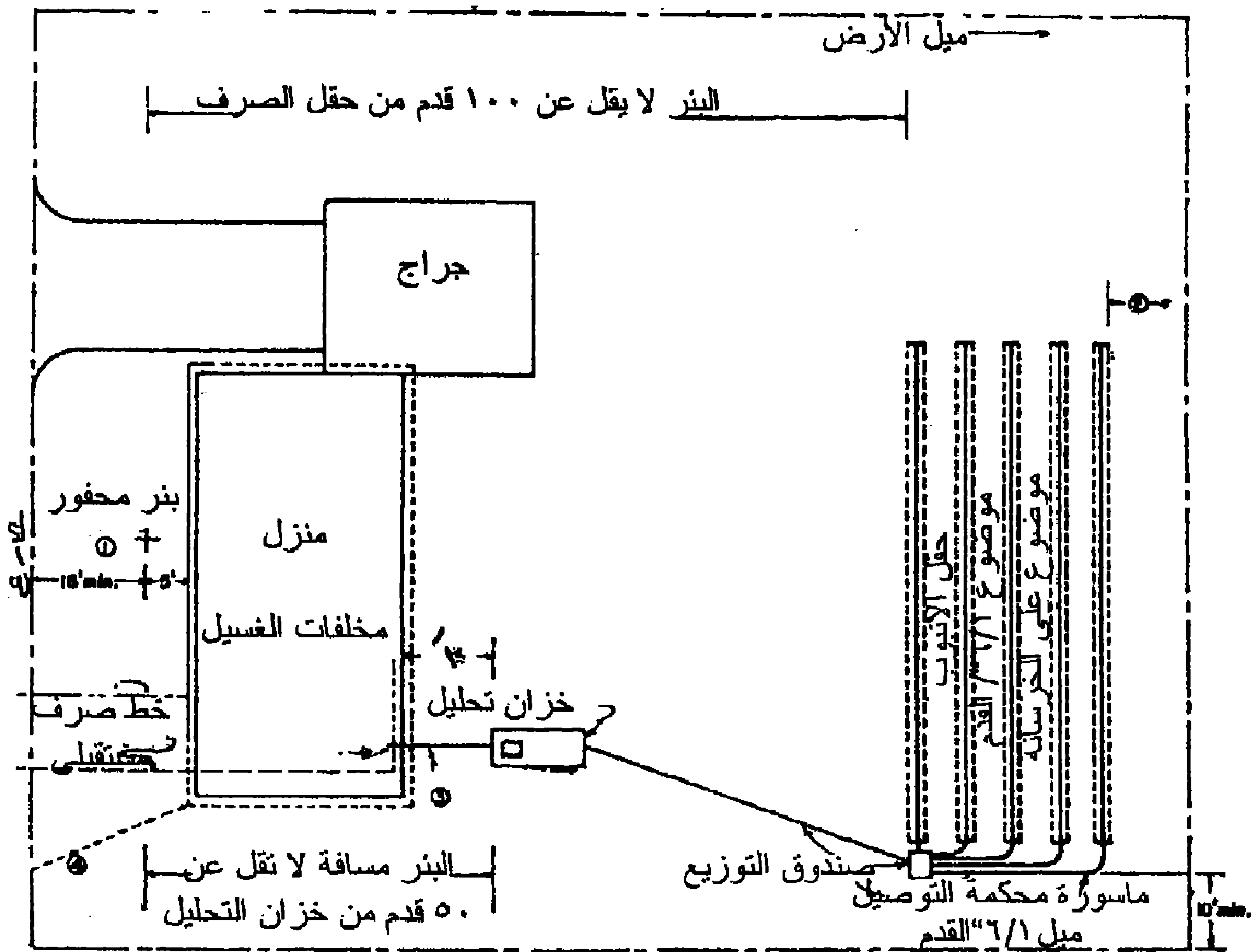
المياه الخارجة من خزان التحليل تتدفق إلى حقل الارتشاح، والذى يقوم بتوزيع السائل بانتظام على مساحة حجميه. من حقل الارتشاح هذا فإن السائل يتسرب إلى أسفل حتى خط المياه الجوفية. مع تدفق السائل خلال مسام التربة، فإنه يتم إزالة الكائنات الدقيقة والملوثات الأخرى من الماء. كلاً من الترشيح والأدمصاص، التحلل البيولوجى يمكن أن يلعب دوراً فى تنقية مياه الصرف قبل أن يتم تخفيفها فى المياه الجوفية.

النوع العادى لحقل الارتشاح يتكون من اثنين أو ثلاثة من الخنادق المنفصلة مع المواسير التى تقوم بنشر مياه الصرف. قبل الوصول إلى الخنادق. تتدفق مياه الصرف نحو صندوق التوزيع. الذى يقوم بالتوزيع المتساوى لمياه الصرف على كل خندق. من

الناحية الصحية يجب أن يكون الفاصل لا يقل عن ٣٠ متر بين حقل الارتشاح وبئر الإمداد بالمياه. نموذج لوضع خزان التحليل موضح فى الشكل (٦/٢٦).

خنادق الصرف فى حقل الارتشاح :

خنادق الصرف فى حوض الارتشاح عبارة عن حفر ضحلة بعرض لا يقل عن ٣٠سم (١ قدم) وبعمق لا يقل عن ٦٠ سم (٢ قدم). يتم وضع حوالى ١٥سم من الزلط (٦ بوصة) على قاع الخندق لحمل خط المواسير المثقب لتوزيع سائل الصرف. المواسير يتم تغطيتها بالزلط الزائد ثم بالقش أو الورق لمنع الطبقة الأخيرة من تربة الردم من اختراق مسام الطبقة الزلطية. ميل المواسير يكون عموماً حوالى ٠,٠٥%. أو أقل فى الأماكن ذات الميل الحاد نسبياً، توضع الخنادق موازية للكنتورات الأرضية تقريباً. الخنادق المستقلة أو الفرعات يكون طولها لا يقل عن ٣٠متراً (١٠٠ قدم) وتكون بفواصل بين كل منها بمسافة لا تقل عن ١,٨ متر. مثال لمقطع الخندق موضح فى الشكل (٦/٢٧).



شكل (٦/٢٦) شكل يوضح الصرف تحت السطحى فى الموقع

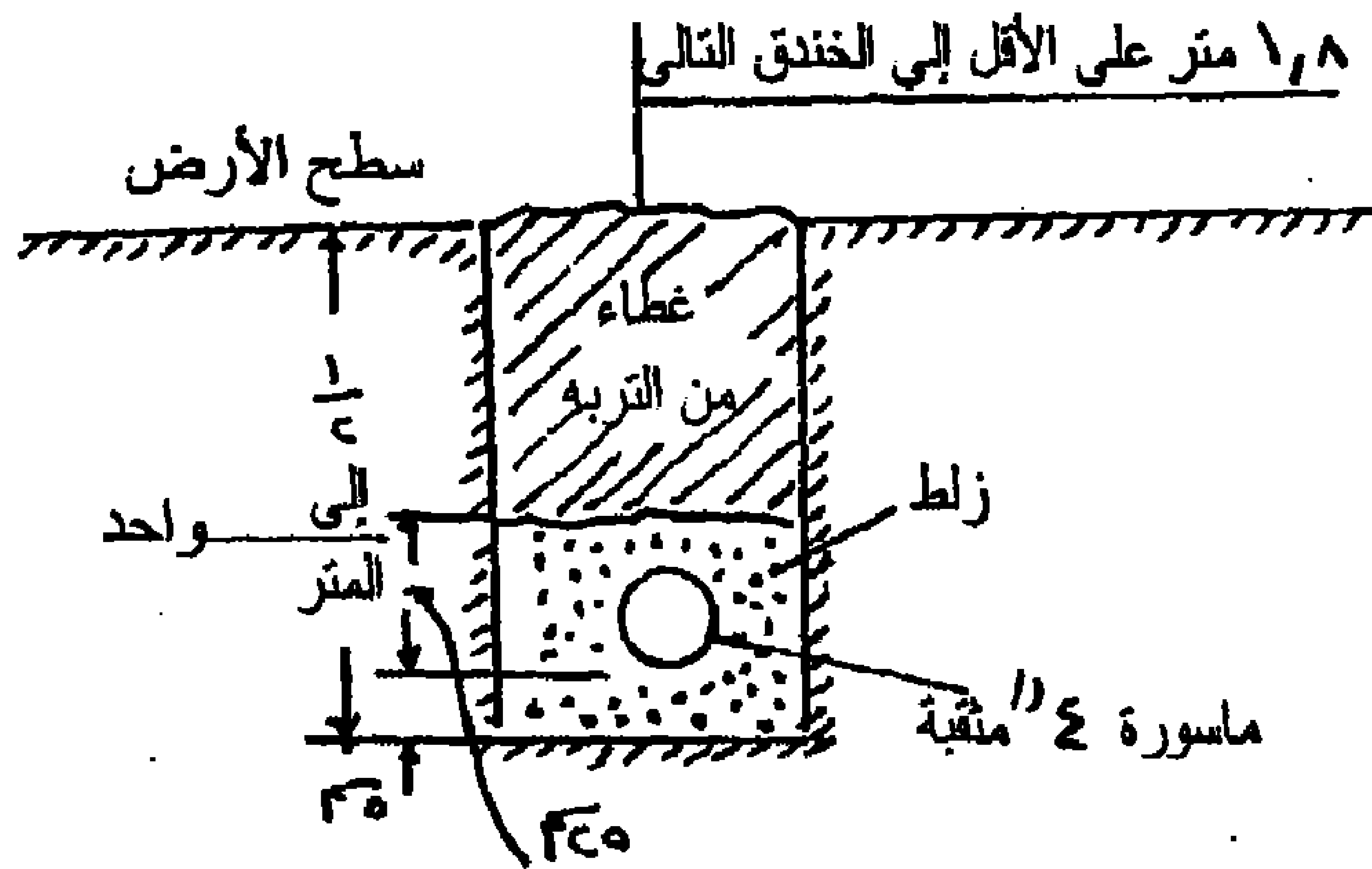
ملاحظات:

١- الصرف المانع للتسرب خلال ٢٥ قدم من البئر .

٢- الحقل يجب أن يكون ٥٠قدم أو أكثر من سطح مائى أو ١٠ قدم أو أكثر من أى خط مياه تحت الضغط.

٣- مواسير الزهر بوصلات مطاط خلال ٥٠ قدم من أى بئر.

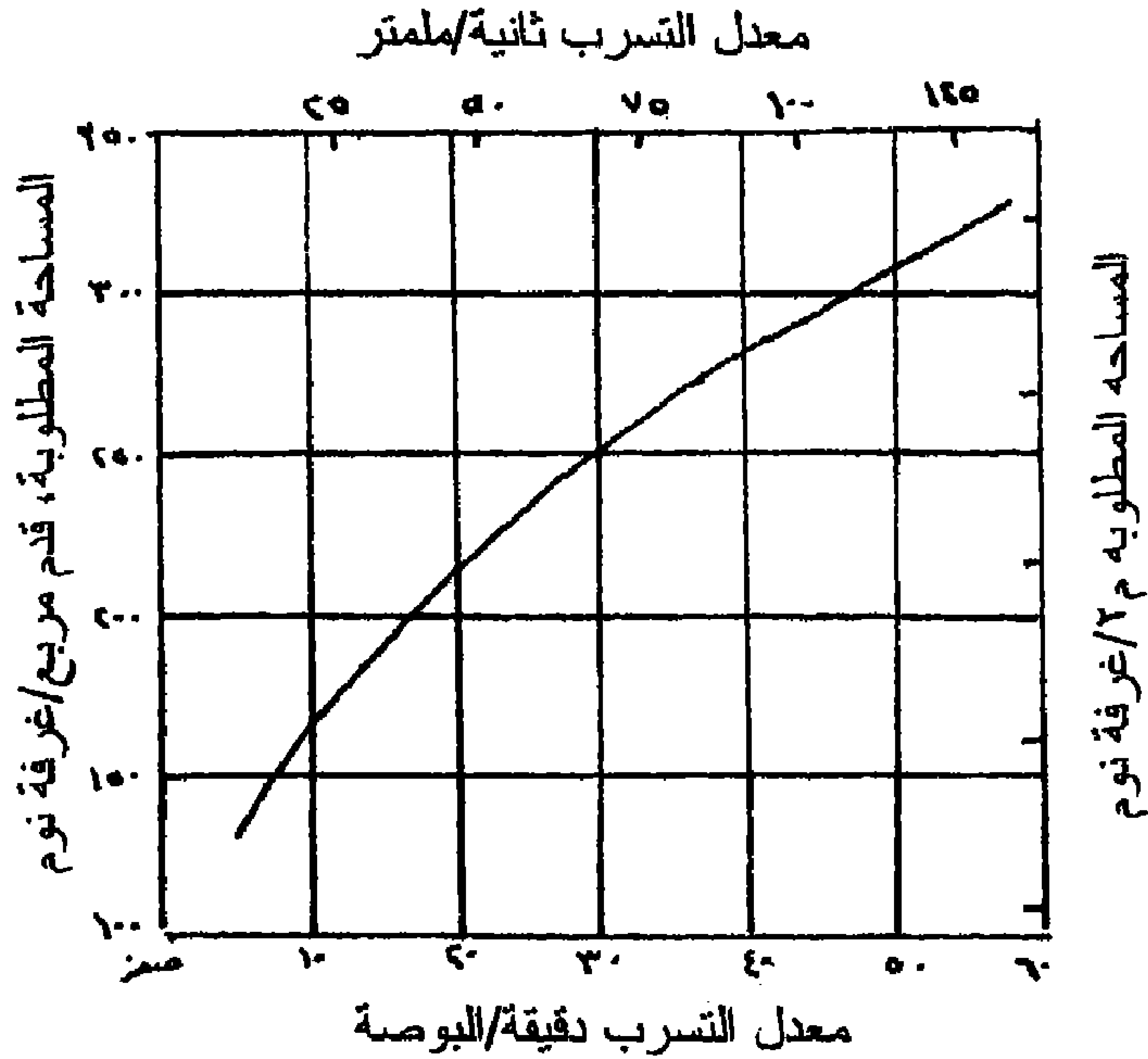
٤- مسار الصرف بعيداً عن مصدر الصرف من البئر.



شكل (٦/٢٧) مقطع خلال خندق الامتصاص

تصميم حقل الإمتصاص يشمل تعيين عدد الأطوال المطلوبة من الخنادق. البيانات من اختبار التسرب تعتبر هامة جداً بالنسبة لهذا. بالنسبة للنظم السكنية يمكن استخدام مخطط مثل الموضح فى الشكل (٣٤/) بواسطة المصمم، المتطلبات تختلف بعض الشئ للنظم التى تخدم المؤسسات التجارية وطرق التصميم الحقيقية تختلف على المستوى القومى.

كما هو واضح من الشكل (٦/٢٨) مساحة الامتصاص المطلوبة ترتبط بتسرب التربة. مساحة الامتصاص يمكن تحويلها إلى قدم طولى من الخندق كما هو موضح فى المثال التالى.



شكل (٦/٢٨) نموذج لمساحة الامتصاص أو الارتشاح للمساكن المستقلة، إجمالى المساحة المطلوبة يتوقف على معدل التسرب وعدد غرف النوم فى المنزل

مثال:

منزل من أربع حجرات يقع فى مكان له معدل تسرب ٣٠ دقيقة/ البوصة. كم عدد الفرعات الجانبية المطلوبة إذا كان عرض الخندق ٢ قدم؟ وما هى الأبعاد الكلية لحقل الارتشاح؟

الحل :

من الشكل (٢٨/ ٦) يتم تعيين أنه مطلوب ٢٥٠ قدم مربع مساحة امتصاص لكل حجرة. بالنسبة لأربع حجرات يكون المطلوب ٤ × ٢٥٠ = ١٠٠٠ قدم مربع مساحة امتصاص مطلوبة لحقل الارتشاح.

حيث أن عرض الخندق هو ٢ قدم فإنه توجد حاجة لـ ١٠٠٠ قدم مربع ÷ ٢ قدم = خندق بطول ٥٠٠ قدم. كذلك نظراً لأن أقصى طول للفرعة الجانبية هو ١٠٠ قدم، فإنه توجد حاجة إلى ٥٠٠ ÷ ١٠٠ = ٥ فرعات جانبية. كل فرعة تبعد عن الأخرى ٥ قدم. حيث أنه يوجد ٤ فواصل بين خمسة فرعات جانبية، فإن عرض حقل الامتصاص سيكون ٦ × ٤ = ٢٤ قدم.

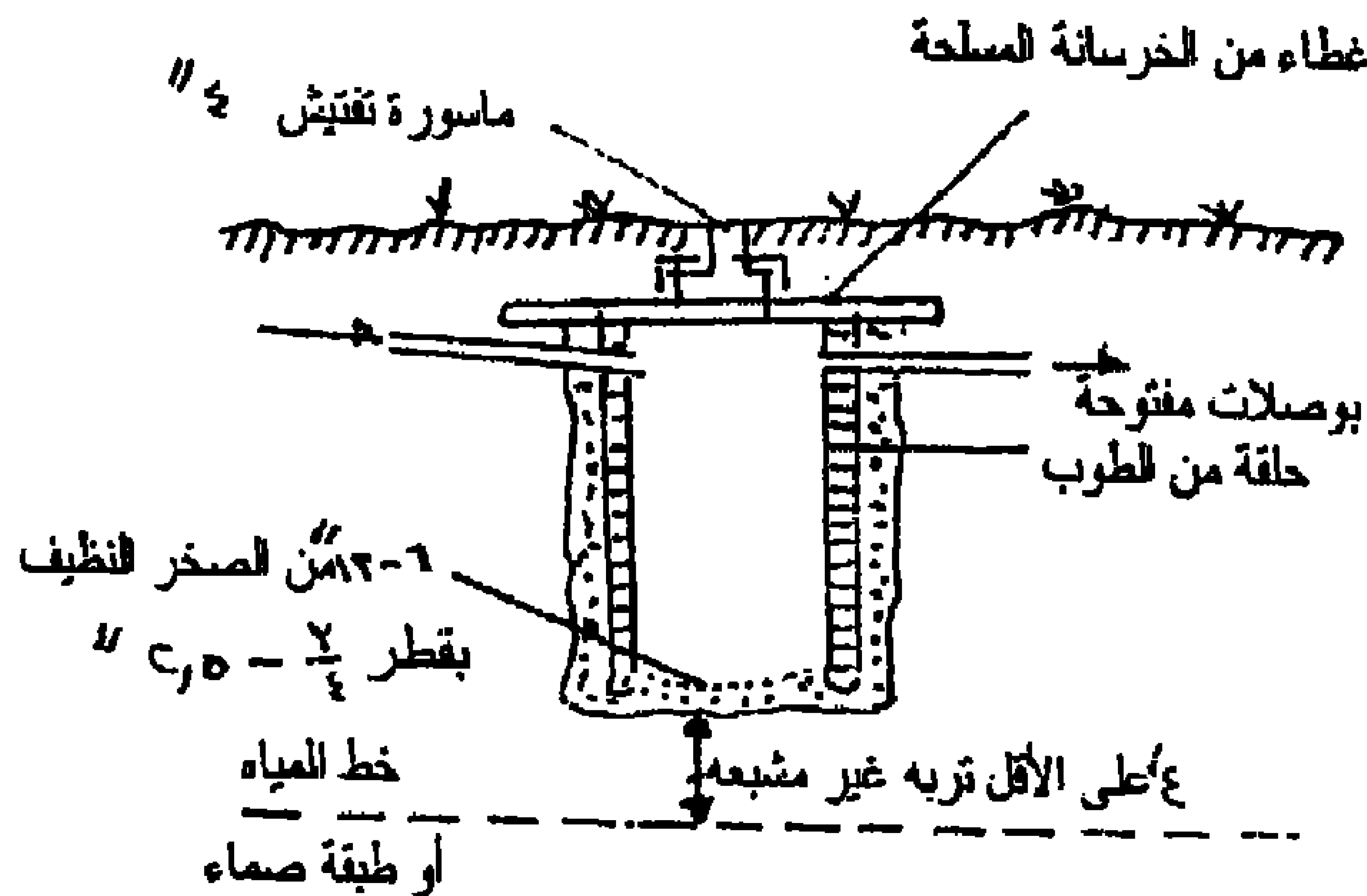
كل حقل الارتشاح سيشغل ٢٤ × ١٠٠ = ٢٤٠٠ قدم مربع مـــن الموقـــع (٠,٠٢٢ هكتار أو ٠,٠٠٥٥ فدان).

الفشل الذي يحدث لخزان التحليل هو أمر عادي. الفشل للنظام يشمل الفيض لمياه الـــصرف من خزان التحليل حول الأرض وإلى المسطح المائى، حيث يسبب ذلك مشاكل للـــصحة العامـــة وتلوث الماء. مثل هذا الفشل يمكن منعه. كل خزانات التحليل تحتاج إلى الضخ طبقـــاً لتوقيتـــات معينة لإزالة تراكمات الحمأة الراسبة. وكذلك لمنع التدفق العلوى للمـــواد الـــصلبة إلـــى حقـــل الصرف. إهمال هذه المتطلبات البسيطة هو من الأسباب المسببة لانسداد حقل الـــصرف وفـــشل النظام. إساءة استخدام نظام التحليل، باستخدامه لصرف الكيماويات أو أى مخلفات غير مناســـبة، وكذلك لاستخدام الزائد للمياه المنزلية يمكن أن يساهم فى حدوث الفشل.

حفر التسرب : (Seepage Pits)

عندما يكون الموقع صغيرا بالنسبة لحقل الارتشاح التقليدى، فإنه يمكن أحيانا استخدام حفـــر أعمق التى تشغل مساحة أقل للصرف تحت السطحى. هذه الحفر تسمى حفر التسرب أو الآبـــار الجافة. يمكن كذلك اختبارها بدلاً من الخنادق بهدف استخدام تربة أفضل وأكثر عمقاً.

المياه الخارجة من خزان التحليل تتدفق نحو حفرة، حيث يتم تخزينها حتى تتـــسرب خلال الحوائط الجانبية والقاع. مقطع فى نموذج لحفرة التـــسرب موضـــح فـــى الـــشكل (٦/٢٩). رغم أن استخدام حفرة التسرب غير مفضل من ناحية الصحة الوقائية، إلا أنـــه مقبول أحيانا فى حالة التدفقات الصغيرة لمياه الصرف. من المهم جـــداً أن خـــط الميـــاه العلوى لا يقل عن ١,٢ متراً أسفل قاع حفرة التسرب، لحماية نوعية المياه الجوفية.



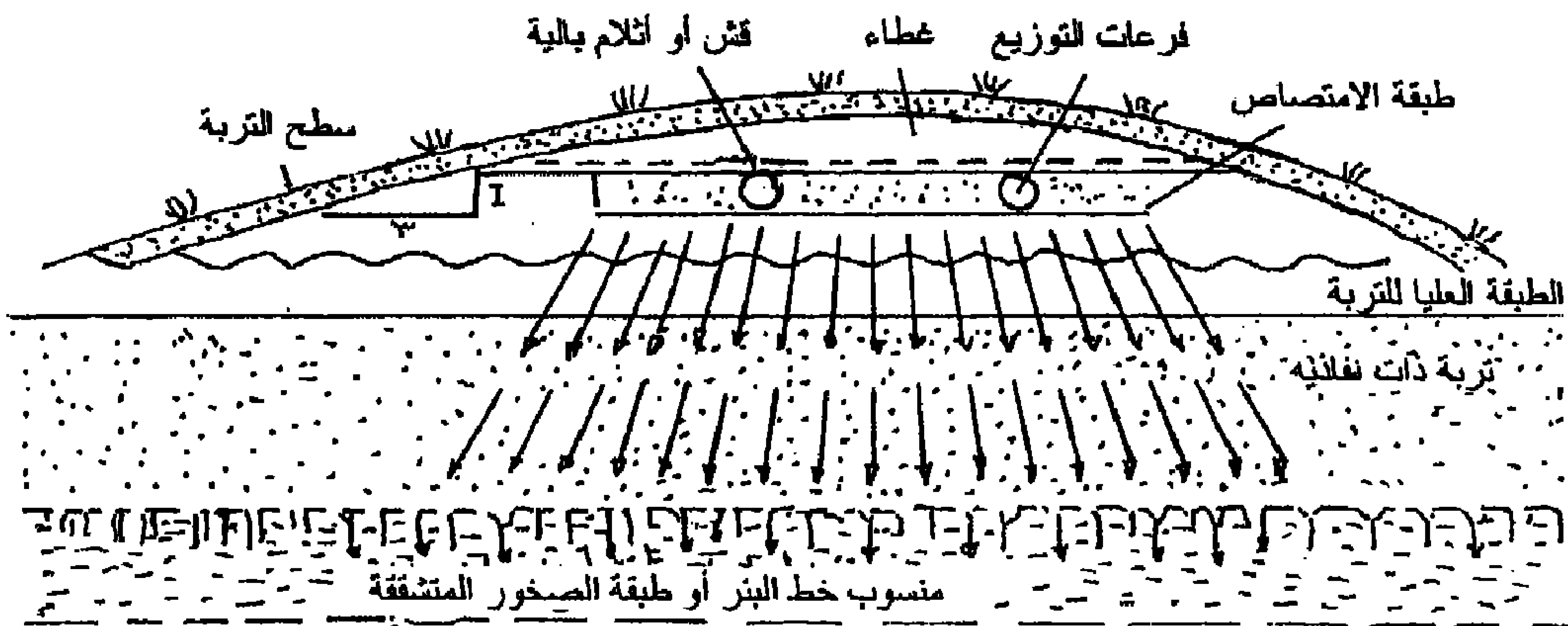
شكل (٦/٢٩) مقطع فى حفرة تسرب للتخلص المحلى من مياه الصرف.

حفرة التسرب يسبقها خزان تحليل

القطر والعمق المطلوب لحفرة التسرب يتوقف على معدلات التسرب وسمك الطبقات المختلفة للتربة فى منطقة الحفر. طبقات التربة ذات معدلات تسرب أقل من ٣٠ دقيقة/ البوصة لا يتم تضمينها فى حسابات التصميم. حفر التسرب النموذجية تكون بقطر حوالى ٣ أمتار (١٠ قدما) وبعمق حوالى ٤,٥ متر (١٥ قدما). عندما يكون المطلوب أكثر من حفرة واحدة فى موقع معين يكون الفاصل بما لا يقل عن ثلاثة أضعاف القطر. يمكن حفر حفرة التسرب باستخدام آلات الحفر التقليدية، ولكن يجب الحذر من الحفر عندما تكون التربة رطبة. رطوبة التربة سوف تقلل طاقة امتصاصها.

الهضاب الصغيرة : (Mounds)

للتغلب على معوقات الموقع التى تعيق استخدام حفر التسرب أو حقول الارتشاح، فإنه يمكن استخدام نظام الهضاب الصغيرة. من بين معوقات الموقع تشمل التربة ذات المعدل البطئ جداً للتسرب وحالات وجود طبقات صخرية أو أن يكون خط المياه قريباً من سطح الأرض. الهضاب الصغيرة هو نظام امتصاص مياه الصرف التى ترتفع فوق سطح الأرض الطبيعية. هذا النظام يوفر مادة ملء مناسبة للتسرب وكذلك البعد عن الطبقة الصخرية أو خط المياه الجوفية. مقطع فى نظام الهضاب الصغيرة موضح فى الشكل (٦/٣٠).



شكل (٦/٣٠) نظام المرتفعات للتخلص المحلى من

مياه الصرف وتغذية الخزان الجوفى

مادة الملء عادة تكون من الرمل المتوسط من المصادر المحلية المتاحة. يتم وضع طبقة من الزلط وفرعات التوزيع الجانبية فى الجزء العلوى من الهضبة لانتظام امتصاص

مياه الصرف من خزان التحليل. يجب أن تتم التغذية بمياه الصرف إلى منطقة الامتصاص بشكل متقطع. أبعاد نظام الهضبة تتوقف على حالات التربة الطبيعية، ميل الأرض، عمق الملء أسفل مساحة الامتصاص.

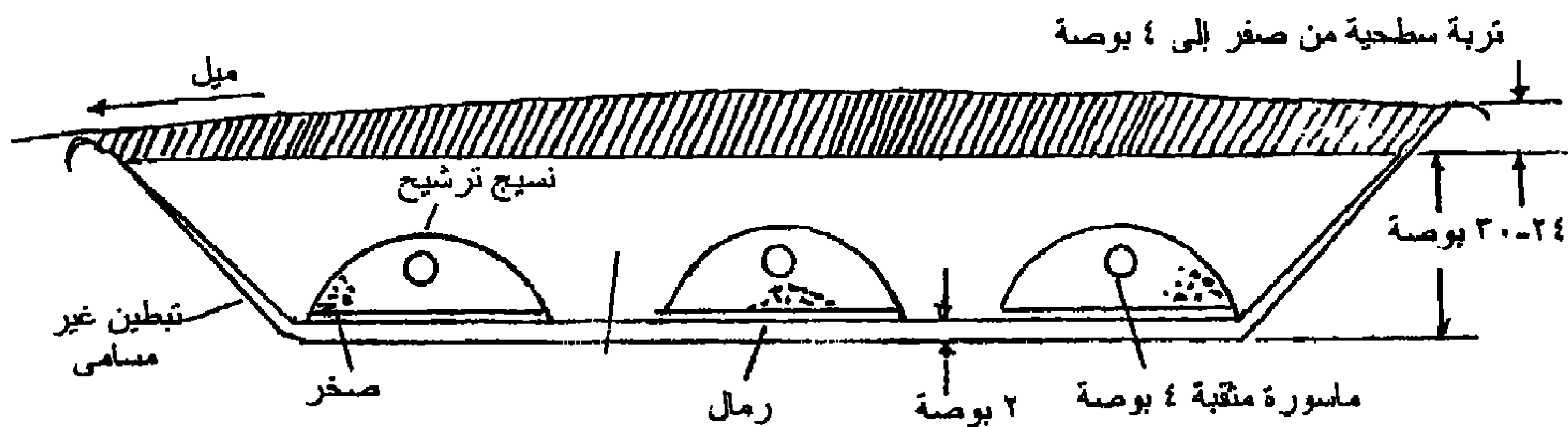
نظم أخرى فى الموقع : (Other On-Site Systems)

الجمع بين خزان التحليل وحقل الارتشاح هو نوع النظام العادى للمعالجة والتخلص من مياه الصرف فى الموقع. خزان التحليل يوفر أدنى معالجة، ولكن بالنسبة نوعية المياه ليست هناك حاجة لتكون عالية ذلك لان طاقة التنقية للتربة تكون عادة كافية لحماية المياه الجوفية. حقل الارتشاح يوفر الوسائل للتوزيع المنتظم لمياه الصرف المعالجة (الخارجة من خزان التحليل) فى التربة. كما سبق مناقشته فإن القيود على التخلص تحت السطح فى التربة يمكن التغلب عليها باستخدام حفر التسرب أو نظم الهضاب الصغيرة.

فى بعض الحالات، تكون حالات الموقع أو التربة تجعل من الصرف التحت سطحى أنه غير مجدى على الإطلاق، لذلك يكون من الضرورى التخلص من مياه الصرف فى الموقع بسبب عدم وجود محطة معالجة صرف صحى تابعة للمحليات. توجد بدائل عديدة متاحة بالامتصاص تحت السطحى، ولكن هذه عموماً أكثر تكلفة فى الإنشاء والتشغيل والصيانة. هذه البدائل تشمل استخدام نظم البخر والنتح (Evapotranspiration) والمرشحات الرملية المتقطعة. كلاً من هذين النظامين يمكن استخدامه بعد خزان التحليل. فى حالة الرغبة فى مستوى أعلى من المعالجة، يمكن استخدام وحدة معالجة صغيرة مثل حوض تهوية ممتدة فى الموقع.

نظم البخر والنتح :

يتكون نظام البخر والنتج من طبقة من الرمل، شبكة من مواسير التوزيع المثقبة، وطبقة بطانة غير مسامية التى تمنع المياه المعالجة من الوصول إلى خط المياه. فى بعض الحالات، يمكن عدم تنفيذ طبقة البطانة هذه وذلك لتمكين بعض من مياه الصرف أن تتسرب فى التربة. ولكن الهدف الرئيسى لهذا النوع من النظام هو صرف مياه الصرف فى الجو وتجنب الحاجة للصرف على المسطح المائى أو إلى المياه الجوفية. مقطع فى نموذج لنظام البخر والنتح موضح فى الشكل (٦/٣١).



شكل (٦/٣١) نظام البخر والنتح للتخلص فى الموقع

يتم توزيع السائل الخارج من خزان التحليل خلال الطبقة فى شبكة المواسير المثقبة. ترتفع مياه الصرف خلال الرمال بالخاصية الشعرية ثم تتبخر فى الهواء. الحشائش أو النباتات الأخرى التى تنمو أعلى الطبقة تمتص بعضاً من مياه الصرف فى منطقة الجذور وتقوم بنتحها (Transpireit) فى الهواء خلال الأوراق. ولذلك كانت التسمية نظام البخر والنتح. أحد أهم العوامل الحساسة التى تتحكم فى استخدام نظام البخر والنتح هو المناخ المحلى الذى يؤثر على معدل التبخر. تحديداً، العوامل مثل الأمطار السنوية، سرعة الرياح، الرطوبة، اشعاعات الشمس، ودرجة الحرارة كل هذه العوامل تعتبر هامة.

نظم البخر والنتح تعمل بكفاءة فى المناطق حيث يزداد معدل التبخر عن معدل الترسيبات، كما فى حالة جنوب الولايات المتحدة والمنطقة العربية وشمال أفريقيا. النتح بواسطة النبات يزيد من كمية بخار الماء فى الهواء فى نظم التربة المغطاة، ولكن فقط أثناء ساعات ضوء النهار لمواسم النمو.

المعيار الهام فى التصميم لنظام التبخر والنتح هو معدل التحميل الهيدروليكى، والذى يجب أن يكون منخفضاً بما يكفى لمنع الطبقة من الامتلاء تماماً بالسائل. معدل التحميل التقليدى هو حوالى ٢ لتر/ م٣/اليوم. (٠,٠٥ جالون فى اليوم/ القدم المربع/ اليوم) وذلك فى أحد المدن الأمريكية. معدل التحميل الهيدروليكى يتم تحديده من الفرق بين معدل التبخر ومعدل الترسيب. نظام التبخر والنتح لأسرة واحدة يحتاج حوالى ٤٦٥ متر مربع من المساحة الأرضية.

المرشحات الرملية المتقطعة :

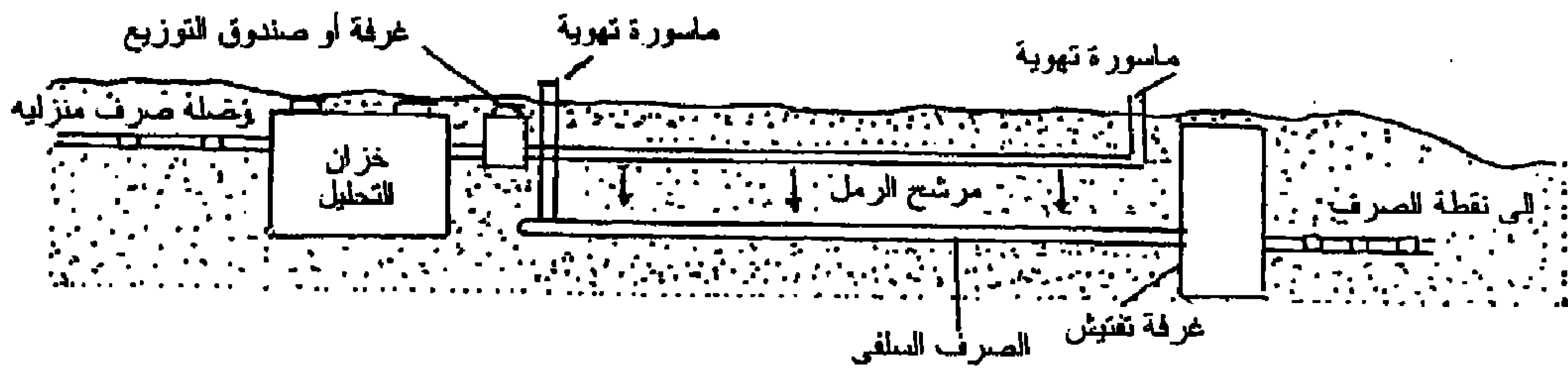
من بين أقدم الطرق لمعالجة مياه الصرف كانت طريقة الاستخدام المتقطع لمياه الصرف المرسبة فى طبقة الرمال. طبقة الرمال عادة بعمق واحد متر وأسفلها طبقة من

الزلط ومواسير تجميع. السائل المتجمع يمكن تطهيره بالكلور قبل الصرف على الأرض أو المسطحات المائية.

المرشحات يمكن بناءها كوحدات مفتوحة عند مستوى سطح الأرض، أو يمكـــن أن تكون مدفونة فى الأرض. وهذه توفر معالجة جيدة مع أدنى متطلبات للصيانة. وتستخدم هذه المرشحات لتوفير المعالجة فى الموقع للمنازل وكذلك للمنشآت التجارية الـــصغيرة. نموذج للمرشح المدفون موضح فى الشكل (٦/٣٢)

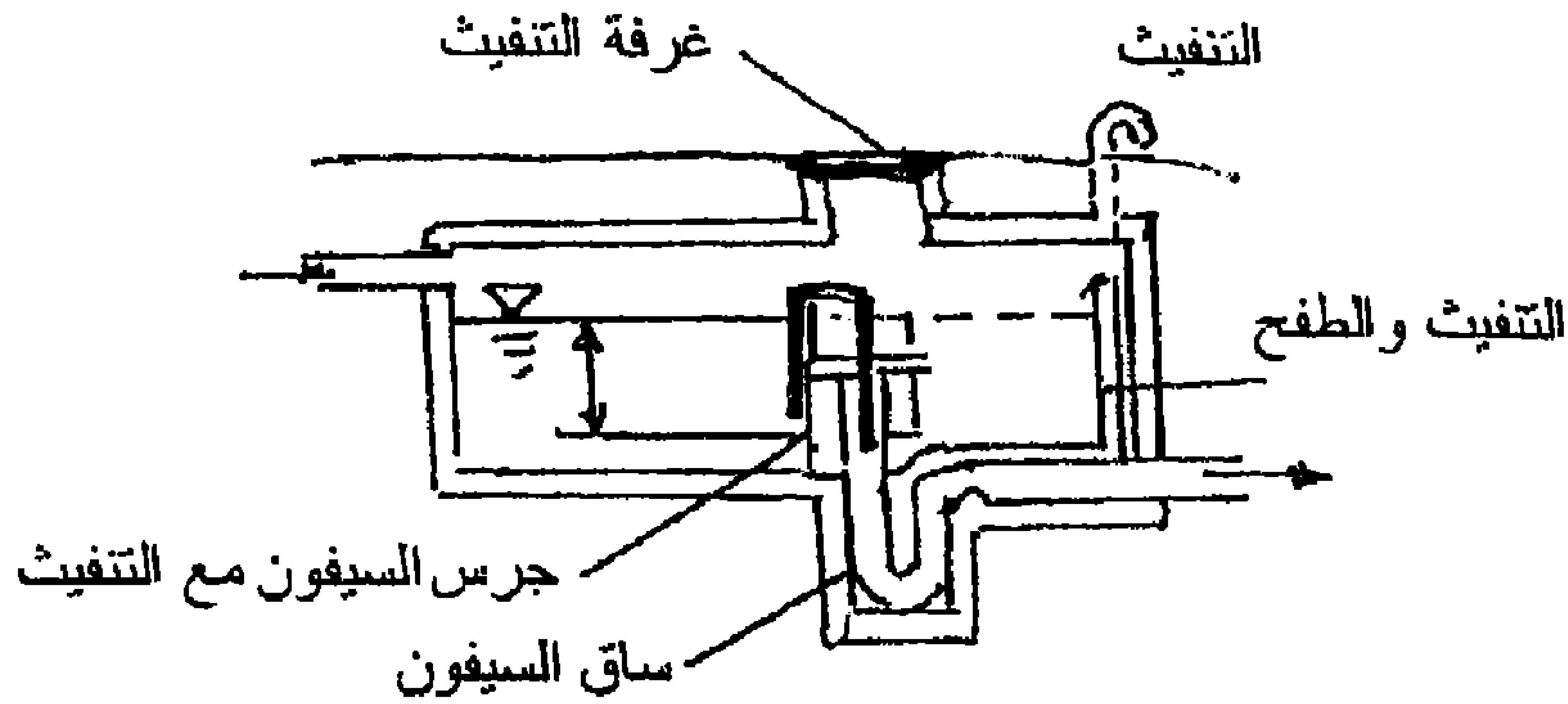
خطوط التوزيع المثقبة العلوية تكون مستوية وبفواصل ٢ متر (٠٦ قدم). مواســـير الصرف السفلية تكون مثقبة أو ذات وصلات مفتوحة على ميل حوالى ٠,٠٥% وتكـــون بفواصل ٤ متر (١٢ قدم). الحمل العضوى على المرشح المدفون هو حوالى ٠,٠٤ متر مكعب/ المتر المربع/ اليوم(جالون واحد فى اليوم/ القدم المربع).

طبقة التربة العليا المنتهية فوق المرشح يتم رفعها بعيداً عن التدفقات. التغذية أو إمداد مياه الصرف للطبقة الرملية، يعتبر عامل هام متعلق بتشغيل وصيانة المرشح. المرشحات الضخمة يجب تغذيتها بطريقة متقطعة حوالى مرتين فى اليوم وذلك لملء كل الوحدة. من المهم توفير فترة راحة بين الجرعات لاستمرار الحالة الهوائية للطبقة. تستخدم خزانـــات صغيرة والتى تسمى حجرات التغذية لتخزين مياه الصرف حتى استخدامها فى المرشـــح بالطلمبة شكل (٦/٣٢) أو بتجهيزة سيفون. نموذج لغرفة ســـيفون التغذيـــة بالجرعـــات موضح فى الشكل (٦/٣٣).



شكل (٦/٣٢) مقطع خلال مرشح رملى للصرف المحلى للصرف الصحى

يقوم السيفون بالصرف آلياً عند وصول مستوى مياه الصرف فى الخزان إلى منسوب يسمى عمق السحب، لا توجد حاجة للتحكم الكهربى أو الميكانيكى. وهذه يـــتم تنـــشيطها بالضغط الرأسى لمياه الصرف. السيفونات من الحديد الزهر أو من الـــصوف الزجـــاجى متاحة تجاريا بأحجام مختلفة. غرفة السيفون تحتاج فقط لصيانة قليلة.



شكل (٦/٣٣) مقطع لغرفة التغذية وتجهيزه السيفون

٦- إدارة الحمأة : (Sludge Management)

مقدمة :

المواد الصلبة العالقة التى أزيلت من مياه الصرف أثناء الترسيب ثم تم تركيزها للمعالجة التالية تسمى الحمأة أو المواد الصلبة البيولوجية (Biosolids). حتى فى حالة عمليات معالجة الصرف بالطريقة الهوائية حيث يتم تكرار تدوير الحمأة، فإن معظم الحمأة يجب إزالته من آن إلى آخر من النظام. قبل التخلص من الحمأة فإنه يلزم عمل بعض المعالجات لها وذلك لخفض الحجم ولتثبيتها. العمل الخاص بالمعالجة والتخلص من هذه المادة يسمى إدارة الحمأة.

الحمأة تكون حوالى ٣ – ٧% من المواد الصلبة العالقة، كل فرد ينتج حوالى ١٥ لتر (٤ جالونات) من الحمأة فى الأسبوع. بالنسبة لمدينة صغيرة تعداد سكانها ½ مليون نسمه فإنها تضيف حوالى مليون لتر من الحمأة يومياً (٢٥٠٠٠ جالون/ اليوم). نظراً لحجم وطبيعة المادة فإن إدارة الحمأة هو عامل هام فى تصميم وتشغيل كل محطات معالجة ملوثات المياه. وهذا يساهم فى أكثر من نصف التكاليف الكلية لمحطة معالجة ثنائية.

خواص الحمأة :

مكونات وخواص حمأة الصرف الصحى تختلف كثيراً. نظراً لأنه لا يوجد نوعين من مياه الصرف متشابهين، فإن الحمأة المنتجة سوف تختلف. وكذلك، خواص الحمأة تختلف كثيراً مع الوقت. حمأة مياه الصرف تحتوى على مواد عضوية (بروتينات، كربوهيدريت، دهون، زيوت)، ميكروبات (بكتريا، فيروسات، بروتوزوا)، مواد الغذاء (أملاح الفوسفور والنيتروجين) وعديد من الكيماويات المنزلية والصناعية. كلما زادت مستويات المعادن

الثقيلة والمركبات السامة، زادت الخطورة على الصحة العامة وعلى البيئة. الخاصية الطبيعية الحاكمة هي تركيز المواد الصلبة، لأن ذلك يعرف حجم الحمأة الذى يلزم تداوله. وهى كذلك تحدد ما إذا كان سلوك الحمأة مثل السائل أو الصلب. الحمأة تميل إلى أن تكون مثل السائل البلاستيك مع زيادة تركيز المواد الصلبة حتى الوصول إلى الحالة الصلبة نسبياً.

كمية الحمأة الصلبة المنتجة من نظام معالجة مياه الصرف (أو مياه الشرب) تتوقف إلى حد كبير على درجة المعالجة التى أجريت وعلى كمية الكيماويات التى أضيفت. تتكون الحمأة عند قاع المروق أو حوض الترسيب فى شكل ردغة مركزة من المواد الصلبة العالقة في الماء. يتوقف الحجم على الكميات النسبية للمادة الصلبة والماء. يعبر عن تركيز الحمأة كنسبة مئوية بالوزن أو الكتلة. فمثلاً، الكتلة من الحمأة السائلة قدرها ١٠٠ كجرام التى تحتوى على ٣ كجرام من المواد الصلبة، ٩٧ كجرام من الماء سيكون تركيزها ٣/١٠٠ أو ٣% مواد صلبه. وهذا يكافئ تركيز للمواد الصلبة ٣٠٠٠٠ ملجرام/لتر. تركيز المواد الصلبة له تأثير واضح على الحجم الكلى الذى تشغله الحمأة السائلة. إجمالى حجم الحمأة يتناسب عكسياً مع تركيز المواد الصلبة. فمثلاً، فى حالة مضاعفة النسبة المئوية للمواد الصلبة، لتكن من ٣% إلى ٦%، عندئذ فإن إجمالى حجم الحمأة سوف ينخفض إلى نصف حجمه الأصلى. وهذه علاقة هامة جداً. زيادة تركز الحمأة فى الردغة بنسبة مئوية قليلة يمكن أن يقلل كثيراً إجمالى حجم الحمأة. وهذا يقلل تكاليف التداول، المعالجة والتخلص من الحمأة.

للأغراض العملية، يمكن افتراض أن الوزن أو الكتلة لوحدة الحجم لسائل الحمأة هو نفسه مثل ذلك للماء النقى. فمثلاً، كتلة واحد متر مكعب من الماء هى ١٠٠٠ كجرام، وكتلة نفس الحجم من الحمأة الكثيفة نسبياً (كما فى حالة ١٠% مواد صلبة) هو فقط ١٠٢٠كجرام. فرق الـ ٢% يمكن إهماله لأغراض التصميم والتشغيل. على أساس ذلك، العلاقة بين تركيز الحمأة وأحجام الحمأة يمكن التعبير عنها كالآتى :

$$(1) \qquad S = \frac{M}{V} \times 100$$

أو

$$(2) \qquad S = \frac{W}{8.34 \times V} \times 100$$

حيث :

S = النسبة المئوية التركيز بالمواد الصلبة فى الحمأة

M = الحمأة الصلبة الجافة بالكيلوجرام معادلة (١)

W = الحمأة الصلبة الجافة بالرطل معادلة (٢)

V = إجمالى حجم الحمأة باللتر فى المعادلة (١) والجالون فى (٢)

8.34 = عدد الأرطال فى الجالون معادلة (٢)

مثال :

حمأة بمحتوى ٦% تركيز المواد الصلبة تشغل حجم إجمالى ٣٠٠ متر مكعب. (أ) ما هو محتوى الحمأة من الماء؟ (ب) ما هى كتلة الحمأة الصلبة؟ (جـ) فى حالة زيادة تركيز الحمأة (أو إزالة الماء) إلى حجم ٢٠٠ متر مكعب ما هو التركيز للحمأة الناتج عن ذلك؟ ماذا سيكون المحتوى من الماء؟

الحل :

(أ) إذا كان ٦% من الحمأة يتكون من المواد الصلبة الجافة، عندئذ فإن المحتوى من الماء هو ببساطة الفرق أو ١٠٠ - ٦ = ٩٤%.

(ب) أولا :

V = ٣٠٠م٣ × ١٠٠٠ = ٣٠٠٠٠٠ لتر

باستخدام المعادلة (١)

٦ = M ÷ ٣٠٠٠٠٠ × ١٠٠

. . M = ١٨٠٠٠ كجرام من المادة الصلبة الجافة

(جـ) ثانيا باستخدام المعادلة (١)

S = ١٨٠٠٠ ÷ ٢٠٠٠٠٠ × ١٠ = ٩% مواد صلبة

المحتوى من الماء سيكون ١٠٠ - ٩ = ٩١%.

مثال :

حجم من الحمأة قدره ٥٠٠٠٠٠ جالون يحتوى على ١٠٠٠٠٠ رطل من المواد الصلبة الجافة. ما هو المحتوى من المواد الصلبة للحمأة كنسبة مئوية؟ إذا تم تركيز الحمأة إلى ٤% مواد صلبة ماذا سيكون الحجم؟

الحل :

أولا استخدم المعادلة (٢) بما يعطى

S = ١٠٠٠٠٠ ÷ (٨,٣٤ × ٥٠٠٠٠٠) × ١٠٠ = ٢,٤ %

ثانيا استخدم المعادلة (٢)

٤ = ١٠٠٠٠٠ ÷ (٨,٣٤ × V) × ١٠٠

و

V = ١٠٠٠٠٠ ÷ (٨,٣٤ × ٤) × ١٠٠ = ٣٠٠٠٠٠ جالون

الحمأة الأولية عادة تحتوى على تركيز ٧% من المواد الصلبة. الحمأة الثنائية لها تركيز أقل كثيراً من المواد الصلبة ذلك لأن معظم المواد الصلبة العالقة عبارة عن زغبات عضوية التى ترسب ببطء والتى لا تدمج إلى الكثافة العالية للحمأة الأولية. حمأة المخلفات المنشطة تحتوى فقط على حوالى ٢% من المواد الصلبة أو أقل.

مواد الحمأة الصلبة الأولية والثنائية معظمها مواد عضوية، مع جزء متطاير حتى ٠,٨. الحمأة الأولية تعطى رائحة منفرة قوية، يمكن أن تصبح متعفنة بسرعة ويصعب تداولها. بالإضافة إلى خفض الحجم، فإن الهدف الأساسى من معالجة حمأة الصرف الصحى هو لتثبيت المواد العضوية الصلبة القابلة للتحلل البيولوجى ولتكون الحمأة غير عدوانية وسهلة التداول. حمأة محطة معالجة المياه تكون غالبا من رواسب كيماوية خاملة والتى تكون ثابتة نسبيا وغير عدوانية. كميات هذا النوع من الحمأة يمكن أن تتغير كثيراً طبقا لكمية ونوع الكيماويات المستخدمة وعلى مكونات المياه الخام.

كمية الحمأة الأولية المنتجة فى محطة معالجة الصرف الصحى تتوقف على تركيز المواد الصلبة العالقة فى مياه الصرف الخام وعلى كفاءة الإزالة للمواد الصلبة العالقة. يمكن تقديرها من المعادلات الآتية :

الكتلة = E × إجمالى المواد الصلبة العالقة (TSS) Q x (١)

الوزن = 8.24 × Q × TSS × E (٢)

حيث الكتلة (Mass) = مواد الحمأة الصلبة الجافة بالكيلو جرام معادلة (١)

الوزن (Weight)= مواد الحمأة الصلبة الجافة بالرطل معادلة (٢)

Q = معدل تدفق مياه الصرف مليون لتر/ اليوم

للمعادلة (١) أو مليون جالون فى اليوم للمعادلة (٢).

كمية الحمأة الثنائية المنتجة فى محطة معالجة الصرف الصحى تتوقف على تركيز الحمل العضوى (BOD) وعلى الجزء من الحمل العضوى الذى يتحول إلى مواد صلبة بيولوجية (خلال الميكروبات). يمكن تقديرها بالآتى :

الكتلة (Mass) = Q × BOD × K (١)

الوزن (Weight) = 8.24 × Q × BOD × K

حيث K = المعامل الذى يمثل نسبة BOD التى تحولت إلى مواد صلبة بيولوجية فى شكل رقم عشرى.

BOD = الحمل العضوى المستخدم (5-d BOD) ملجرام/لتر.

قيمة K تتوقف على الحمل العضوى أو نسبة الغذاء إلى الكائنات الدقيقة (F/M Ratio)، القيمة التقليدية لنظم التهوية الممتدة أو النحو الثابت (Fixed Growth) هى K = ٠,٢٥ ، وبالنسبة لعمليات التهوية على خطوات أو التقليدية فإن قيمة K = ٠,٣٥.

مثال :

دخل محطة معالجة الصرف الصحى بالمرشحات الزلطية تدفق ٤ مليون لتر فى اليوم مع مواد صلبة عالقة خام = ٢٤٠ ملجرام/لتر وحمل عضوى خام (BOD) = ٢٢٠ ملجرام/لتر. كفاءة الإزالة فى حوض الترسيب الأولى هى ٥٠% بالنسبة للمواد الصلبة العالقة، ٣٠% للحمل العضوى (BOD).

(أ) احسب كتلة مواد الحمأة الصلبة الأولية المنتجة فى اليوم.

(ب) احسب كتلة الحمأة الثنائية، الصلبة المنتجة فى اليوم.

(جـ) فى حالة الجمع لكل من الحمأة الأولية والحمأة الثنائية وأن الخليط له تركيز مواد صلبة قيمته ٤%، ما هو الحجم الكلى للحمأة المنتجة يوميا؟

الحل :

(أ) باستخدام المعادلة (١) تعطى

الكتلة = ٠,٥ × ٢٤٠ × ٤ = ٤٨٠ كجرام من الحمأة الأولية

(ب) أولاً، أحسب الحمل العضوى (BOD) المستخدم فى النظام الثنائى.

الحمل العضوى المستخدم (BOD) = (١ – ٠,٣) × ٢٢٠ = ١٥٠ ملجرام/لتر باستخدام المعادلة (١).

الكتلة = ٠,٢٥ × ١٥٠ × ٤ = ١٥٠ كجرام/ اليوم من الحمأة الثنائية.

(جـ) إجمالى كتلة كلاً من الحمأة الأولية والثنائية هو

٤٨٠ + ١٥٠ = ٦٣٠ كجرام/اليوم. الآن باستخدام المعادلة

$$S = \frac{M}{V} \times 100$$

. . ٤ = ٦٣٠ ÷ V × ١٠٠

. . V = ٦٣٠٠٠ ÷ ٤ = ١٥٧٥٠ لتر فى اليوم

= ١٦ متر مكعب/ اليوم إجمالى حجم الحمأة

معالجة الحمأة : (Sludge Treatment)

يتم معالجة الحمأة قبل التخلص النهائى منها لسببين وهما خفض الحجم وتثبيت المواد العضوية. الحمأة المثبتة ليس لها رائحة منفرة ويمكن تداولها بدون أى مشاكل ذات تأثير على الصحة العامة. انخفاض حجم الحمأة يقلل من الضخ ومتطلبات التخزين ويقلل من تكاليف تداول الحمأة.

يتاح عمليات كثيرة لتحقيق هذين الغرضين الأساسيين. وهذه تشمل تكثيف الحمأة (Thickening)، الهضم (Digestion)، سحب المياه (Dewatering)، التجميع (Co-Compositing). بدائل معالجة الحمأة التقليدية موضحة فى الشكل (٦/٣٤) سيتم مناقشة الحرق كبديل نهائى للتخلص من الحمأة. جمع الحمأة مع القمامة والمخلفات الأخرى تم مناقشته فى فصل التخلص من المخلفات المنزلية (الجزء الأول).

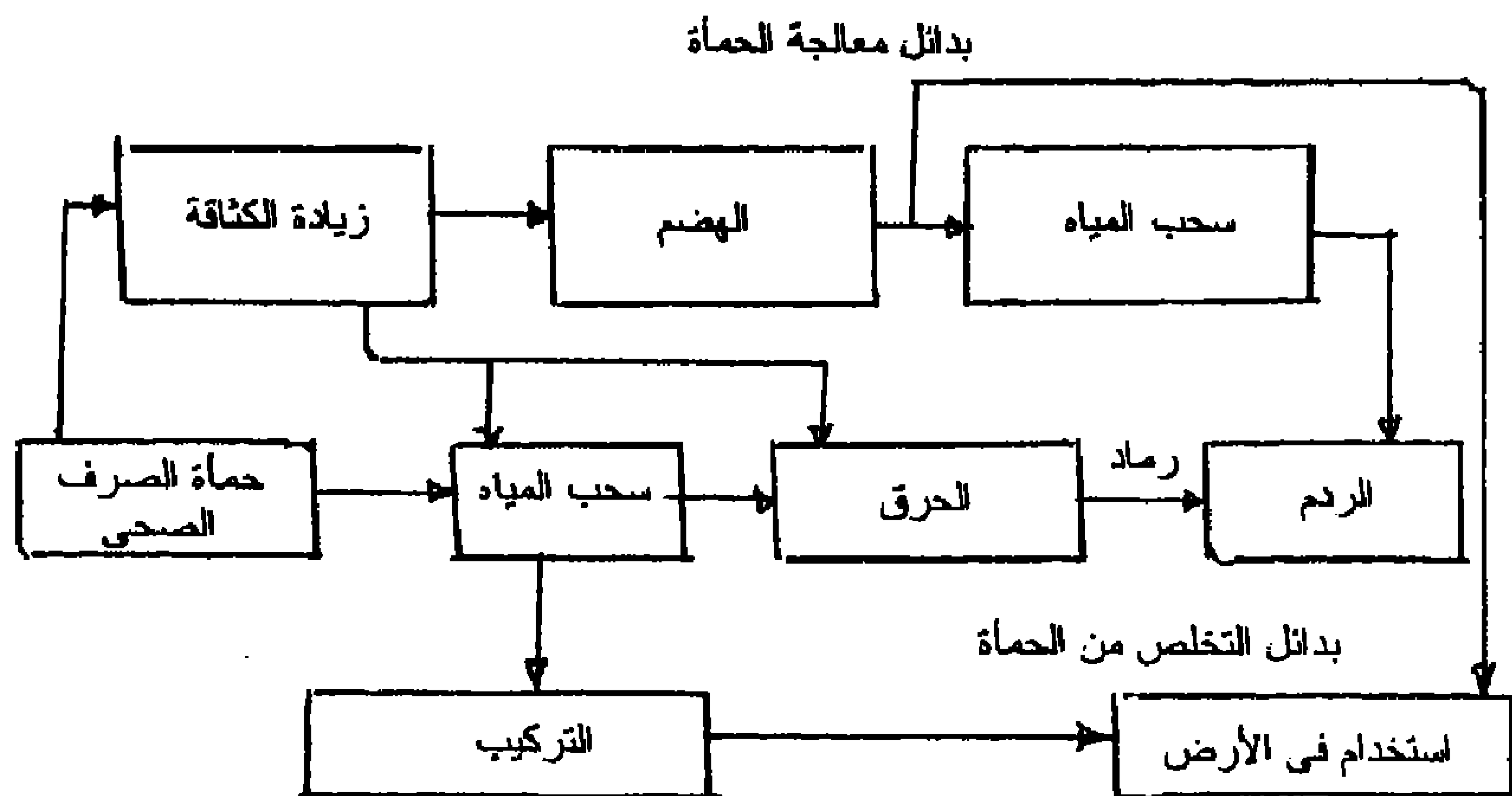
تكثيف الحمأة :

طبيعى أن معالجة الحمأة المائية أو المخففة ليس عمليا حيث يكون تركيز المواد الصلبة فيها لا يقل عن ٤%. الحمأة المنشطة هو مثال للحمأة المخففة. التكثيف هو عملية طبيعية التى تزيد من تركيز المواد الصلبة فى الحمأة. حيث أن مؤشر حجم الحمأة يتغير

عكسيا مع تركيز المواد الصلبة، فإن مضاعفة المحتوى من المواد الصلبة من ٣ إلى ٦% مثلاً، سوف يقطع مؤشر حجم الحمأة إلى النصف.

وحدة المعالجة المسماة مكثف الجاذبية (Gravity Thickner) تستخدم عادة لزيادة تركيز المواد الصلبة. وهو يشبه حوض ترسيب الحمأة الدائرى المجهز بشرائح خشبية أو معدنية رأسية متصلة بذراع زحافة الحمأة. مع الدوران البطئ لذراع الزحافة فإن الريش تقلب الحمأة بخفة. أداء التقليب يساعد فى تحرر الماء والغاز المحتجز من الحمأة بما يسمح لها لتكون أكثر كثافة. الحمأة المكثفة يتم سحبها من قاع الحوض، مياه الحمأة (Supernatent) تتدفق فوق الهدار ثم تضخ ثانيا إلى مدخل محطة المعالج. الحمأة يمكن تكثيفها لأكثر من ١٠% مواد صلبه فى مكثف الجاذبية (Gravity Thickner).

البديل لمكثف الجاذبية هو عملية تسمى الطفو بالهواء المذاب (Dissolved Air - Flotation)، وهو مؤثر جداً للحمأة المخففة جداً. فى هذه العملية يتم دفع الهواء فى المحلول تحت الضغط ثم يخلط مع الحمأة الداخلة، كما هو موضح فى الشكل (٦/٣٥). تتحرك فقاعات الهواء خارج المحلول فى حوض الطفو المفتوح، حاملة زغبات الحمأة إلى سطح السائل مع ارتفاعها. تتكون طبقة من الحمأة حيث يتم كشطها من السطح، طبقة الحمأة الطافية يمكن أن تكون بسمك حوالى ٤٠سم (١٦ بوصة). يمكن الحصول على تركيزات مواد صلبة حتى ٦% فى طبقة الحمأة المكثفة بطريقة الطفو بالهواء المذاب.



شكل (٦/٣٤) بدائل طرق المعالجة للحمأة والتخلص منها

مساحة صغيرة، فإن النظام الميكانيكي يوفر درجة أعلى من التحكم وخاصة عند تداول هذا النوع من الحمأة المخففة الثنائية.

النظام العادى الميكانيكى المستخدم لسحب المياه من الحمأة يشمل مرشح الأسطوانة الدوارة بالتفريغ (Rotary Drum Vacuum Filter) والطرد المركزى (Centrifuge).

يتكون مرشح الأسطوانة الدوارة بالتفريغ من برميل إسطوانى ضخم مغطى بنسيج ترشيح خاص. الأسطوانة تدور مغمورة جزئيا فى الحوض المحتوى على الحمأة. يتم تسليط المص أو التفريغ داخل الإسطوانة حيث يتم سحب الحمأة على سطح النسيج وسحب المياه. تلتصق طبقة رقيقة من الحمأة التى أزيلت المياه منها على سطح نسيج الترشيح وتسمى قشور الترشيح (Filter Cake)، التى تلتصق بالنسيج. الدوران التالى للإسطوانة يحمل قشور الترشيح إلى ريشة مثبته التى تكشط الحمأة إلى قادوس مع تحرك البرميل الأسطوانى. يتم غسيل النسيج برشات قويه من الماء قبل إعادة إدخاله إلى حوض الحمأة. عادة يكون من الضرورى إضافة كيماويات معينة إلى الحمأة لترويب المواد الصلبة وتحسين القدرة على الصرف. وهذا ما يسمى إعداد الحمأة (Conditioning). فى هذه العملية يتم خلط كيماويات مثل كلوريد الحديديك أو الجير المطفى أو البلمرات مع الحمأة قبل دخولها إلى حوض الترشيح بالتفريغ. فى نظام سحب المياه بالطرد المركزى يتم ضخ الحمأة إلى أسطوانة أفقية التى تدور بسرعة عالية. كيماويات إعداد الحمأة يتم كذلك حقنها فى الإسطوانة. المواد الصلبة تدفع إلى جدار الإسطوانه الدوارة بفعل القصور الذاتى. يتم ضخ السائل الرائق ثانياً إلى مدخل محطة المعالجة للمعالجة. أجهزة الطرد المركزى تكون مقفلة كلية بما يقلل من مشاكل الرائحة، ولكن يكون من الصعب أحياناً المحافظة على استمرارها بسبب السرعة العالية للمعدة.

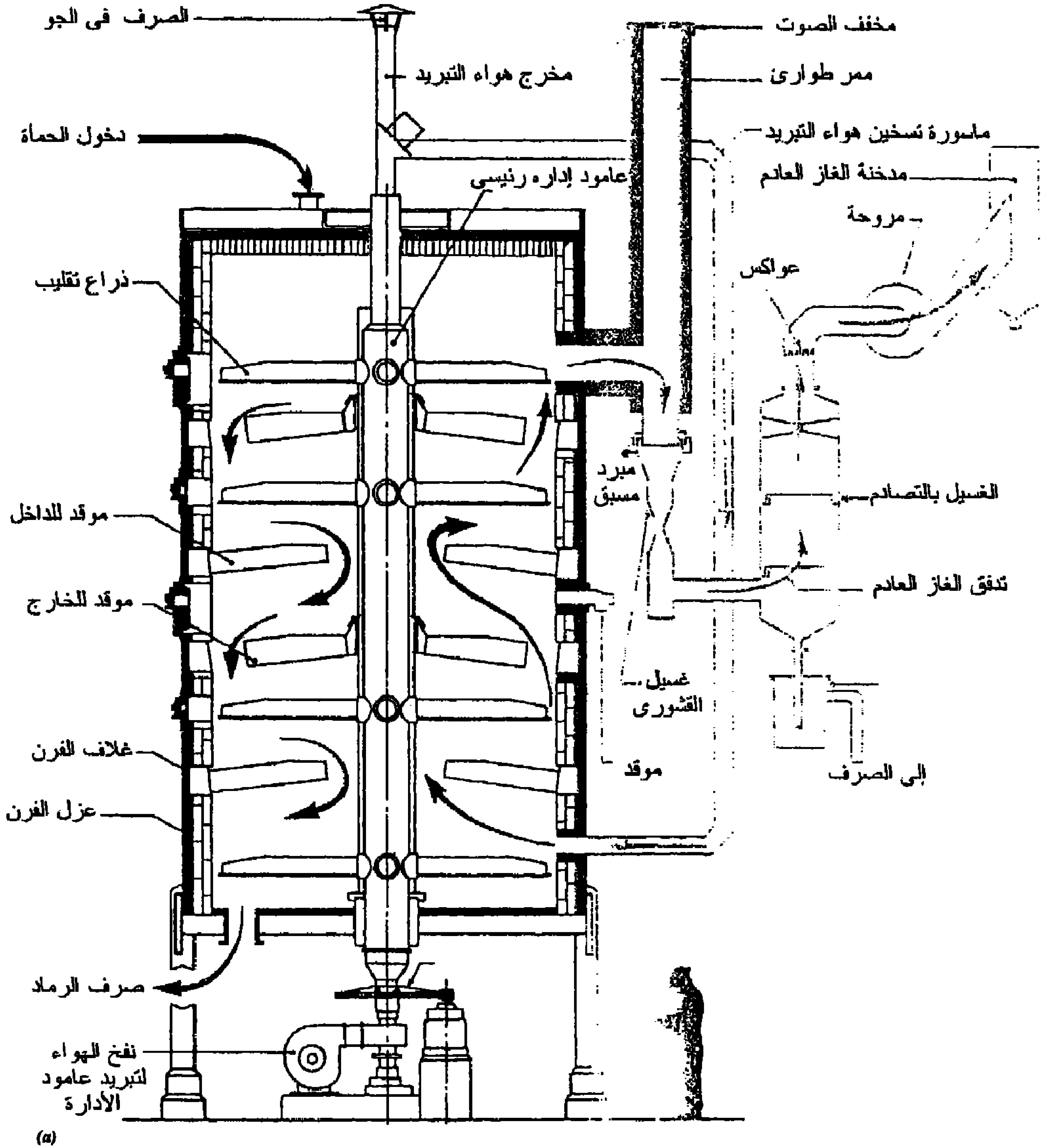
التخلص من الحمأة : (Sludge Disposal)

الطرق المستخدمة عادة للتخلص النهائى من حمأة مياه الصرف تشمل الردم الأرضى (Land filling)، الحرق، البيع كسماد طبيعي. ولكن الردم الأرضى تحكمه وتحد من استخدامه معايير البيئة والحرق ملوث البيئة أما الاستخدام كسماد طبيعى فهو أفضل البدائل.

حرق الحمأة :

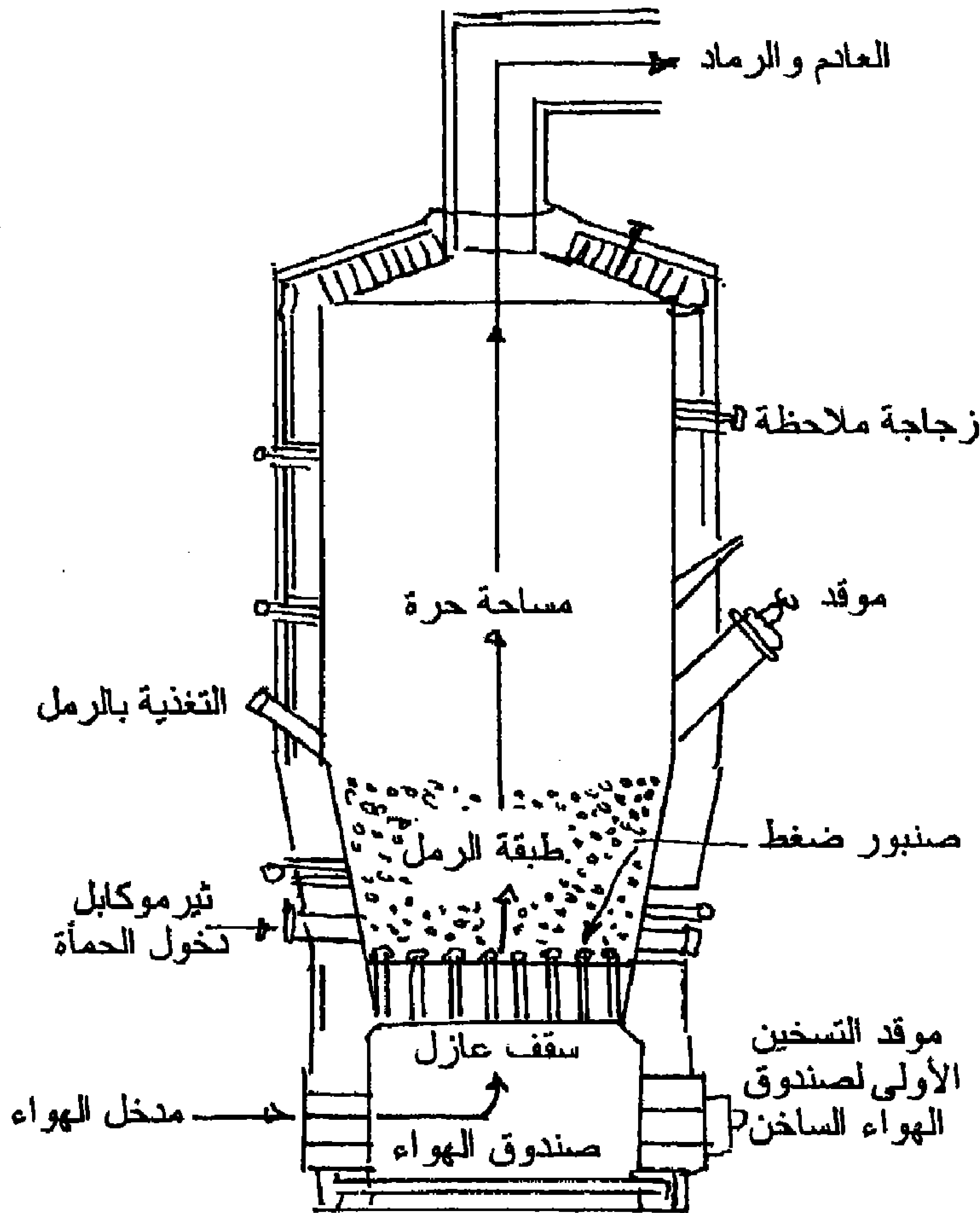
يمكن حرق حمأة الصرف الصحى، لتحويل المواد الصلبة العضوية فى معظمها إلى بخار الماء وثانى أكسيد الكربون، حيث يتبقى الرماد الخامل. يمكن حرق الحمأة التى أزيل ماءها فى فرن متعدد المواقد (Multiple Hearth Furnance)، محرقة الطبقة السائلة

(Fluidized Bed)، وأنواع أخرى من المحارق. فى الفرن متعدد المواقد تـدخل الحمـاة المزال ماءها من أعلى كما فى الشكل (٦/٣٨). مع مرورها إلى أسفل خلال العديد مـن المواقد، فإنها تجف ويتم تسخينها إلى درجة الاحتراق. مواقد الغاز أو الزيت توفر الطاقة اللازمة للبدايه، والحمأة نفسها تعمل كوقود لاستمرار العملية. يتم سحب الرماد من قـاع الفرن، الغازات العادمة يجب أن تمر خلال أجهزة تنظيف الهواء.



شكل (٦/٣٨) مخطط لمحرقة الحمأة متعددة المواقد

فى محرقة الطبقة السائلة، فإن التدفق العلوى للهواء المخلوط مع الحمأة يدفع خـلال طبقة من الرمل الساخن، الهواء يسبب التمدد للطبقة أو أن تصبح كالسائل (Fluidized). الرمل يتم تسخينه مسبقاً إلى حوالى ٨٠٠° م. يتم حرق الحمأة عند مرورها خلال الرمل الساخن. الرماد المحمول إلى الخارج مع الغازات العادمة يتم إزالته فى المعدة الأخيـرة لنظافة الهواء الشكل (٦/٣٩).



شكل (٦/٣٩) مقطع فى فرن الطبقة السابحة

حرق الحمأة مكلف. كبديل لإدارة الحمأة، وهو مناسب فى المدن المزدحمة فقط حيث لا تتوفر مساحات الأراضى. العوامل المتعلقة بالسكان هى توفر الموقع، الرائحة، القابلية النفسية، والتخلص من الرماد، ومرور المركبات الحاملة لسائل الحمأة. تلوث الهواء يعتبر من أهم العوامل البيئية التى يجب مراعاتها. حيث يلزم معالجة غازات الحـرق. ولهـذه الأسباب فإن حرق الحمأة يعتبر بديل قليل ونادر الاستخدام.

الاستخدام في الأراضي :

الإدارة المثالية لحماة الصرف الصحى المعالجة هو باستخدامها فى أغراض مفيدة.

الاستخدام الأرضى على نطاق واسع هو البديل الذى يحقق الاستفادة من الغذاء النباتى من النترات والفوسفات التى تحتويها الحماة. المواد العضوية الصلبة ذات المستوى المنخفض من المعادن الثقيلة أو المركبات السامة يمكن استخدمها كسماد للنباتات المحصولية أو الأشجار ويمكن أن يحسن من نوعية التربة للأرض الممهدة للجولف وأماكن إصلاح الأراضى الكبيرة. يمكن استخدام الحماة كغطاء للأرض أو أن تخلط مع الأرض أثناء وضعها.

سائل الحماة المهضومة يمكن أن يكون مناسباً للاستخدام المباشر فى التربة. أحد الطرق لعمل ذلك هو بنقل سائل الحماة في عربة فنطاس مجهزة بمعدة نشر خاصة. معدة الرى بالرش يمكن تصميمها لتداول الحماة السائلة. الحماة التى تم تجفيفها فى الهواء يمكن تداولها بمعدة نشر سطحية خاصة مركبة على شاسية المركبة. وهذه تشمل الصرف الخلفى التقليدى أو صندوق التوزيع وصرف جانبى أو نوع النشر بالقذف.

أحياناً يتم خلط الحماة مع نشارة الخشب حيث مع التحلل تكون خليطاً من السماد ونشارة الخشب.

ولكن فى حالة وصول مياه التسرب من الحماة إلى الخزان الجوفى المستخدم لمياه الشرب، فإن المعادن الثقيلة والمواد العضوية السامة تكون ذات تأثير على الصحة العامة. وكذلك وصول هذه المياه إلى المياه السطحية يمكن أن يرفع مستوى أملاح الفوسفور والنيتروجين بما يسبب القتل للأسماك وزيادة نمو الطحالب والنباتات المائية.

المراجع

REFERENCES

1. Hammer M. J. Sr. Water and wastewater Engineering Treatment and disposal, Reuse 3rd Edition McGraw Hill Inc New York. 1991.
2. Viessman W. Water Supply and Pollution Control 6th Edition Addison - Wesley Publishing Co. Reading MA, 1998.
3. Ray, B. T. Environmental Engineering, PWS Publishing Company, Boston 1995.
4. Publications of the American Water Works Association (AWWA).
5. Publications of the World Health Organization (WHO).
6. Publications of the Environmental Protection Agency (IPA).

الفهرس



ISBN 977-287-748-1
9 789772 877485
دار الكتب العلمية للنشر والتوزيع
٥٠ شارع الشيخ ريحان - عابدين- القاهرة
☎ ٢٧٩٥٤٢٢٩
www.sbh-egypt.com
e-mail : sbh@link.net